



**HAL**  
open science

# Contrôle d'exécution et gestion cognitive des erreurs d'action : approche physiologique et ergonomique

Franck Vidal

► **To cite this version:**

Franck Vidal. Contrôle d'exécution et gestion cognitive des erreurs d'action : approche physiologique et ergonomique. 2005. hal-00003807

**HAL Id: hal-00003807**

**<https://hal.science/hal-00003807>**

Preprint submitted on 20 Jan 2005

**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.

# Contrôle d'exécution et gestion cognitive des erreurs d'action : approche physiologique et ergonomique

Responsable scientifique : Franck VIDAL

Franck VIDAL

Institut de Médecine Navale du Service de Santé des Armées  
BP 610, 83800, Toulon Naval  
Tel. : 04 94 09 96 18  
Fax. : 04 94 09 92 51  
E-mail : Vidal.fr@Wanadoo.fr

## Équipes partenaires

- Équipe ACT, Laboratoire de Neurobiologie de la Cognition (LNC), CNRS, Chemin Joseph Aiguier, 13402, Marseille Cedex 20.
- Département d'Ergonomie Cognitive : Institut de Médecine Aérospatiale du Service de Santé des Armées (IMASSA).

## Rappel des enjeux et objectifs

### Cadre général-Position du problème.

Il est extrêmement fréquent que la faillite de systèmes complexes ait pour origine une erreur humaine. L'analyse des erreurs d'action dans des situations routinières constitue l'objet de ce projet. Ces erreurs sont analysées au moyen de techniques électroencéphalographiques et électromyographiques dans des activités sensori-motrices simples (élémentaires) et au moyen de techniques comportementales dans des activités liées au monde du travail (intégrées).

Dans le monde du travail, l'opérateur commet beaucoup d'erreurs mais en récupère la plupart (Wioland et Amalberti, 1998). Dans les activités sensori-motrices les plus élémentaires, une proportion importante d'actions adaptées résulte de la correction (récupération) d'une ébauche d'erreur initiale sans conséquence comportementale évidente (Burlle et Bonnet, 1999 ; Hasbroucq et al., 1999, 2001).

Bien qu'elles décrivent des phénomènes se produisant à des niveaux d'organisation différents, les littératures psycho-ergonomique (comportements intégrés) et psychophysiologique (traitements élémentaires) se réfèrent à des modèles communs. En particulier, un contrôle d'exécution pourrait superviser la réalisation de l'action<sup>1</sup>, aussi bien au niveau des activités sensorimotrices (élémentaires) automatisées étudiées en neurosciences, qu'au niveau des séquences d'actions complexes (intégrées) routinières étudiées par les ergonomes.

### Au niveau intégré.

Deux à cinq erreurs par heure se produisent couramment en situation de travail (Amalberti, 1996). Ces erreurs sont détectées à un taux voisin de 80 % par l'opérateur qui les a commises (Doireau et al., 1995). Ces erreurs sont souvent détectées, mais rarement récupérées par une stratégie d'annulation.

L'existence d'un tel système contrôleur est suggérée par des expériences récentes sur les activités routinières en centrale nucléaire (Noizet et Amalberti, sous presse). Dans ce travail, des professionnels de certains types d'interventions en centrales nucléaires étaient soumis à une simulation réaliste de leur tâche : 1 400 vues de leur environnement habituel d'intervention étaient assemblées pour leur permettre des déplacements et la réalisation d'objectifs (virtuels) très familiers (routiniers) de façon simple et intuitive ; par exemple, le fait de cliquer au moyen d'une souris sur une porte présente sur une vue ouvre cette porte et affiche la scène visible de l'autre côté de la porte. Parmi les vues, certaines ne présentent pas de risque particulier, d'autres présentent des risques dus à un nombre de choix possibles élevé ou bien à une exigence de précision élevée. Le temps passé sur chaque vue était plus élevé dans les vues à nombre

1 Dans la suite, conformément à la coutume des littératures issues des neurosciences et de l'ergonomie nous utiliserons, respectivement, le terme automatique pour les activités sensori-motrices simples et le terme de routinières pour les séquences d'actions complexes tout en considérant ces deux terminologies comme étant conceptuellement équivalentes.

de choix ou à exigence de précision élevés que sur les vues ne présentant pas de risque particulier. Ceci est conforme aux données les plus classiques de la psychophysologie. Cependant, le temps important passé sur certaines vues non risquées constitue un phénomène plus curieux. Ces vues diffèrent d'un sujet à l'autre et même d'un essai à l'autre pour chaque sujet. Par conséquent, les «pauses» effectuées sur ces vues non risquées ne dépendent pas de certaines caractéristiques particulières à ces vues-là mais plus vraisemblablement de l'état interne du sujet à ce moment-là. Ce temps passé sur ces vues sans risque pourrait représenter le temps de traitement nécessaire à la mise en œuvre d'un contrôle d'exécution se fondant non pas sur les effets directs de l'action en cours mais plutôt sur une simulation interne des conséquences de cette action si celle-ci se poursuit sans modification. Nous aurions là un contrôle d'exécution s'effectuant «en ligne».

### Au niveau psycho-physiologique

Quand on analyse les changements d'activité électromyographique des muscles directement impliqués (agonistes) dans chacune de deux réponses possibles au cours de situations de temps de réaction (TR) de choix, on remarque que dans une proportion non négligeable des essais, la contraction de l'agoniste impliqué dans la réponse correcte s'accompagne de contractions infraliminaires (du point de vue comportemental) de l'agoniste impliqué dans la réponse erronée. Les contractions de l'agoniste de la réponse erronée précédant l'exécution de la réponse pourraient être des ébauches d'erreur corrigées avant d'atteindre l'intensité suffisante pour produire une erreur manifeste. Cette interprétation suppose l'existence d'un contrôle d'exécution comparant les sorties motrices en cours à un modèle interne de la réponse requise.

D'autres données concernant des processus plus centraux confirment l'existence d'un tel contrôle d'exécution. Quand un sujet commet une erreur dans une tâche de TR de choix, on observe un potentiel évoqué par la réponse erronée (Falkenstein et al., 1991). Ce potentiel évoqué semblant absent pour les réponses correctes, il a été appelé «Négativité d'Erreur» (NE ou Error Negativity) et considéré comme reflétant la mise en œuvre d'un mécanisme de détection d'erreur. Cependant, en utilisant des méthodes permettant de s'intéresser aux composantes locales des potentiels évoqués, nous avons montré qu'une onde de plus faible amplitude mais présentant la même polarité, la même latence, la même morphologie et la même topographie que la NE se produit aussi pour les réponses correctes (Vidal et al., 2000). Cette onde doit par conséquent être interprétée comme une NE bien qu'elle se produise au cours d'essais strictement corrects. Il n'est ainsi plus possible de considérer que la NE reflète une détection d'erreur. En revanche, ces données sont parfaitement explicables si l'on stipule l'existence d'un contrôle d'exécution en ligne dont la NE refléterait la mise en jeu. Un tel contrôle pourrait être responsable du mécanisme de correction qui se manifeste par les ébauches d'erreurs. Enfin, des travaux récents indiquent que le contrôle est totalement effectué en boucle ouverte et toute correction s'effectue sur la base d'une simulation interne des conséquences du programme activé, autrement dit sur la base d'une copie d'efférence. Par conséquent, le mode de contrôle d'exécution reflété par la Ne témoigne bien de l'existence d'un contrôle d'exécution court et rapide (interne), «en ligne» actif alors même que l'action sous contrôle n'est pas encore effectuée.

### Principe des expériences effectuées et planifiées

Il s'agit donc d'examiner si les mêmes principes généraux de contrôle s'appliquent à différents niveaux d'organisation de l'activité humaine. Au niveau intégré, nous examinons s'il existe bien, pendant la réalisation de séquences d'actions complexes, un mode de contrôle d'exécution fondé sur la simulation interne des conséquences prévisibles de la réalisation de l'action en cours, comme cela semble être le cas au niveau élémentaire. Pour préciser si un tel contrôle existe bien à ce niveau, nous nous plaçons dans des situations de contraintes temporelles. Si les temps passés sur les vues sans risques dans l'expérience de Noizet et Amalberti (sous presse) reflètent bien la mise en œuvre d'un tel contrôle, le temps de traitement qui leur est alloué ne peut pas être trop réduit sans que l'on aboutisse à une perte de ce contrôle et par conséquent à une dégradation inacceptable de la performance. Ceci conduit à prédire que, même sous contrainte temporelle, une proportion significative du temps total mis pour effectuer la tâche doit rester allouée à certaines vues sans risques, pour autant que le temps qui leur est consacré soit en rapport avec le contrôle d'exécution en ligne dont nous faisons l'hypothèse. Cette expérience fait appel à une simulation réaliste des tâches à effectuer par un contrôleur aérien. Et à soumettre des contrôleurs aériens (professionnels de la contrainte temporelle) à cette simulation.

Au niveau des activités sensorimotrices élémentaires, nous examinons si les ébauches d'erreurs sont bien de véritables erreurs rattrapées à temps. Elles constitueraient alors l'analogue, au niveau élémentaire, de ces nombreuses erreurs sans conséquence notable sur la réussite finale de tâche observées au niveau intégré. Dans ces activités sen-

sori-motrices, nous étudions à l'aide d'indices électromyographiques et électroencéphalographiques, le contrôle d'exécution sous contrainte temporelle en fonction du coût de l'erreur et de l'automatisation de certaines associations stimulus-réponse (S-R) plus ou moins compatibles pour le sujet. Le coût de l'erreur est manipulé en jouant sur la fonction d'échange vitesse-précision. Selon les cas, l'emphase est mise sur une consigne de priorité à la précision (coût élevé de l'erreur) ou de priorité à la vitesse (coût peu élevé de l'erreur). Dans ces expériences, nous nous intéressons au statut des ébauches d'erreurs et à leur degré de similitude avec les erreurs «consommées».

#### *Expérience 1*

Douze sujets sont soumis à une tâche de temps de réaction (TR) de choix. Ils doivent produire dès que possible après un signal de réponse un appui du pouce droit ou du pouce gauche sur une presselle. Dans des blocs d'essais séparés on demande aux sujets de répondre en donnant la priorité à la précision des réponses (minimisation du taux d'erreur) au risque de produire des temps de réaction un peu trop longs. Dans d'autres blocs d'essais, on demande aux sujets de donner la priorité à la vitesse de réaction (diminution du TR) au risque de produire des taux d'erreurs un peu trop élevés. Par ailleurs, dans la moitié des blocs, l'association stimulus réponse (S-R) est compatible (les sujets répondent à droite au mot droite et à gauche au mot gauche) dans l'autre moitié des blocs l'association S-R est incompatible (les sujets répondent à gauche au mot droite et à droite au mot gauche). Nous avons donc 4 types blocs : compatible précis, compatible rapide, incompatible précis, incompatible rapide. Nous avons enregistré l'EEG en 10 sites à partir desquels nous calculerons une approximation du laplacien de surface et nous avons aussi enregistré l'EMG des courts fléchisseurs des pouces.

#### *Expérience 2*

Douze sujets sont soumis à une tâche de temps de réaction (TR) de choix. Ils doivent produire dès que possible après un signal de réponse un appui du pouce droit ou du pouce gauche sur une presselle. Ici le signal de réponse peut être «SSSSS» «HHHHH» HHS HH ou SSHSS. La moitié des sujets doivent répondre à droite si la lettre centrale est un S et à gauche si c'est un H. Lorsque les lettres sont toutes identiques la condition est compatible, lorsque les lettres latérales diffèrent des lettres centrales, la condition est dite incompatible. Là encore, la priorité devait être donnée soit à la vitesse de réaction, soit à la précision des réponses dans des blocs différents. Dans cette expérience, on enregistrerait l'EMG des courts fléchisseurs des pouces mais pas l'EEG.

Ces deux expériences ont été totalement réalisées. Nous avons totalement dépouillé et partiellement analysé les données EMG. Les données EEG sont enregistrées mais ne sont pas encore dépouillées ni traitées. Nous avons classé les essais en trois catégories. Les erreurs, les ébauches d'erreur (la réponse correcte est précédée d'une petite bouffée EMG inadéquate du côté ne correspondant pas à la réponse) et les réponses correctes «pures» (non précédées d'une ébauche d'erreur détectable). Le but essentiel de ces expériences est d'examiner le statut des ébauches d'erreur en évaluant le degré de similitude entre les effets observés sur les erreurs consommées et sur les ébauches d'erreur.

Actuellement nous avons montré que les effets séquentiels en relation avec la production d'erreurs et ceux liés aux ébauches d'erreurs sont similaires, quoique quantitativement plus faibles pour les seconds. Les effets séquentiels, bien connus, en relation avec les erreurs sont les suivants : le TR des réponses correctes suivant une erreur est plus long que le TR des réponses correctes précédées d'une réponse correcte. Par ailleurs, le TR des réponses correctes précédant une erreur est plus court que le TR des réponses correctes précédant une réponse correcte. Nous avons retrouvé ces faits dans nos données et nous avons établi qu'il en est de même pour les ébauches d'erreur : le TR des réponses correctes pures suivant une réponse correcte contenant une ébauche d'erreur est plus long que le TR des réponses correctes pures précédées d'une réponse correcte pure. D'autre part, le TR des réponses correctes pures précédant un essai contenant une ébauche d'erreur est plus court que le TR des réponses correctes pures précédant une réponse correcte pure. Nous avons là un argument assez important en faveur de l'idée selon laquelle les ébauches d'erreur sont des erreurs corrigées à temps. Enfin, nous avons effectué des analyses de distributions qui démontrent que ces effets sont répartis sur toute la distribution des temps de réaction et ne résultent pas d'un effet massif confiné à quelques essais exceptionnels.

Il nous reste maintenant à terminer le traitement des données de façon à examiner les effets produits par la compatibilité et par la consigne de vitesse ou de précision pour les erreurs et les ébauches d'erreur. De plus, dans l'expérience 1, l'EEG doit encore être dépouillé et traité pour examiner, dans le cas des erreurs et des ébauches d'erreur, les effets de la consigne de vitesse/précision et les effets de compatibilité.

## Rappel du calendrier des travaux

*Automne 2001.* Réunion des responsables d'équipe au CRNC à Marseille. IMNSSA : Mise au point de l'expérience d'électroencéphalographie. CRNC : Mise au point de l'expérience d'électromyographie. IMASSA : Mise au point de l'expérience avec une application de contrôle de processus rapides du type environnement aérien.

*Hiver 2001-2002.* IMNSSA : Expérience pilote d'électroencéphalographie. CRNC : Expérience pilote d'électromyographie. IMASSA : Suite de la mise au point sur le contrôle aérien.

*Printemps-Eté 2002.* IMNSSA : Expérience d'électroencéphalographie. CRNC : Expérience d'électromyographie. IMASSA : Début de l'expérimentation sur le contrôle aérien.

*Automne 2002.* Réunion des responsables d'équipe à Brétigny : rédaction du rapport intermédiaire. IMNSSA : Dépouillement des données. CRNC : Dépouillements des

données. IMASSA : Suite et fin de l'expérience sur le contrôle aérien.

*Hiver 2002-2003.* IMNSSA : Traitement des données. CRNC : Traitements des données. IMASSA : Traitement des données de l'expérience sur le contrôle aérien.

*Printemps 2003.* Réunion des responsables d'équipe à l'IMNSSA. IMNSSA : Rédaction du compte rendu d'expérience. CRNC : : Rédaction du compte rendu d'expérience. IMASSA : Fin du traitement des données et début de rédaction du compte rendu d'expérience.

*Été 2003.* IMNSSA et CRNC : synthèse des résultats électrophysiologiques. IMASSA : Fin de rédaction des résultats d'expérience.

*Automne 2003.* Réunion de synthèse des responsables d'équipe au CRNC à Marseille : Rédaction du rapport final de fin de contrat.

## Programme de travail prévu pour l'année 2003

*Automne 2002.* IMNSSA : Suite et fin du dépouillement des données. CRNC : Suite et fin du dépouillement des données. IMASSA : Suite et fin de l'expérience sur le contrôle aérien.

*Hiver 2002-2003.* IMNSSA : Traitement des données. CRNC : Traitements des données. IMASSA : Traitement des données de l'expérience sur le contrôle aérien.

*Printemps 2003.* Réunion des responsables d'équipe à l'IMNSSA. IMNSSA : Rédaction du compte rendu d'expérience. CRNC : : Rédaction du compte rendu d'expérience.

IMASSA : Fin du traitement des données et début de rédaction du compte rendu d'expérience.

*Été 2003.* IMNSSA et CRNC : synthèse des résultats électrophysiologiques. IMASSA : Fin de rédaction des résultats d'expérience.

*Automne 2003.* Réunion de synthèse des responsables d'équipe au CRNC à Marseille : Rédaction du rapport final de fin de contrat.