

psychologie ergonomique

Cours de R. Amalberti, Licence de psychologie 2^{ème} année, IED Paris VIII

résumé : Roland Brémond
février 2006

J'ai suivi en 2005/2006 les cours (par correspondance) de 2^{ème} année de Licence de psychologie, et notamment le cours d'ergonomie de R. Amalberti (par ailleurs président du GO 4 du PREDIT). Ce cours, dont on trouvera un résumé ci-dessous, introduit notamment l'approche ergonomique du risque.

1. Définition et survol historique

1.1 Définition. La spécificité de la psychologie ergonomique, par rapport aux autres branches de la psychologie, est de se centrer sur la situation de travail dans laquelle sont engagés les acteurs (opérateurs). Elle s'oppose en cela à la fois à la psychologie expérimentale (centrée sur des situations artificielles) et à la psychologie clinique (puisque la démarche ergonomique est expérimentale).

La notion de travail implique d'une part un objectif bien défini (une tâche) et un opérateur qui dispose d'une certaine expertise (même si elle n'est pas explicite) par rapport à cette tâche. La situation de travail comprend des contraintes (notamment de temps) et des modes de coopération (avec des collègues, une hiérarchie).

On peut définir la psychologie ergonomique par trois caractéristiques : elle s'intéresse à l'homme « en situation » dans sa complexité ; elle utilise la situation « écologique » de la tâche comme paradigme expérimental ; elle s'intéresse aux performances (à l'activité située) plutôt qu'aux compétences.

Le but de la psychologie ergonomique, au-delà de la production de connaissance, est l'amélioration des conditions de travail.

1.2 Historique. La psychologie ergonomique fait partie d'un champs plus large en sciences humaines, l'étude des « facteurs humains », dont les contours sont relativement flous, à l'interface entre psychologie, sociologie et sciences cognitives. Cette discipline vise à prendre en compte l'interaction entre l'homme et son environnement technique, avec principalement une visée pragmatique. C'est un domaine dans lequel la demande est fortement croissante, et qui implique le plus souvent un travail interdisciplinaire.

L'approche « facteurs humains » concerne de nombreux domaines.

- En médecine, elle s'est développée avec l'objectif de préserver la santé physique et psychologique au travail : développement de la médecine du travail, des CHSCT. Ce domaine est devenu relativement mineur en France.

- L'approche « technique » est centrée sur l'adaptation des systèmes techniques à l'homme (interfaces, commandes, etc.), et sur la fiabilité des systèmes homme-machine, selon une logique de sciences de l'ingénieur.
- L'approche ergonomique, enfin, est éclectique et utilise des concepts issus de disciplines variées pour appréhender l'homme dans son milieu d'activité.

On peut distinguer trois grands courants dans l'approche ergonomique.

- Le premier est anglo-saxon, centré sur la prise en compte des capacités limitées du « composant humain » (limitées en mémoire, attention, perception, capacités cognitives et motrices, etc.). L'approche est quantitative, et orientée vers les compétences plus que sur les performances.
- Le second courant est plus francophone, centré sur la tâche (tâche prescrite et tâche effective) et sur la manière dont l'homme adapte son activité selon la situation. La généralisation des résultats est délicate.
- Le troisième courant est également centré sur la tâche, mais en considérant le système couplé homme machine (*joint cognitive system*). Il aborde la conception de systèmes (automatisation, systèmes « intelligents ») en considérant comme variable principale le contrôle cognitif de l'opérateur sur la machine.

1.3 Profession : ergonome. Les ergonomes sont de plus en plus demandés, que ce soit dans l'industrie (santé, transport, NTIC, énergie, chimie, etc.), dans la recherche appliquée (CNRS, INRETS, INSERM, INRS, etc.) ou à l'université. Dans le privé, les titulaires de diplômes d'ergonomie doivent affronter la concurrence d'autres types de formations.

2. Méthodologie

2.1 Introduction. Les méthodes de la psychologie ergonomiques sont celles de la psychologie expérimentale, mais les conditions – et les paramètres – sont plus difficiles à contrôler. De plus, les objectifs sont différents, puisque les ergonomes s'intéressent à des situations particulières, quand les psychologues (hors clinique) s'intéressent à des invariants de l'esprit humain. De plus, au contraire de la psychologie générale, l'ergonomie s'intéresse à des situations complexes (écologiques), ce qui a un impact sur les possibilités de généralisation. On a également une différence au niveau des consignes, puisqu'il s'agit plus de connaître les performances « normales » que les compétences (performances optimales), et au niveau des sujets, qui sont le plus souvent experts (c'est leur travail).

2.2 Situation expérimentale. En ergonomie, avant de mettre en place une expérimentation qui ait un sens, il est nécessaire de procéder à une analyse de la tâche (et de l'activité) de manière à déniaiser le chercheur dans le domaine concerné, pour qu'il en saisisse les enjeux. Cette analyse doit se faire en milieu naturel. On distingue l'analyse de la tâche (ce qui est à faire) de l'analyse de l'activité (ce qui est fait), que ce soit au niveau comportemental ou cognitif. Leplat et Hoc (1983) parlent de la tâche prescrite et de la tâche effective (dans le but de les comparer).

Dans la construction d'une situation expérimentale, le réductionnisme cartésien habituel en psychologie (et en sciences de la nature) est dangereux à hautes doses pour un ergonome, car la complexité de la situation et les mécanismes d'adaptation sont des aspects essentiels de son sujet d'étude, et ils risquent de disparaître dans une décomposition du problème trop analytique. Quatre approches sont classiquement utilisées :

- La situation naturelle : elle est parfaite du point de vue écologique, elle prend en compte tous les paramètres pertinents. Mais la généralisation est délicate, voir impossible. Il faut la considérer comme une approche d'orientation clinique, permettant de comprendre les enjeux, de défricher la situation.
- La simulation : elle a les avantages de la psychologie expérimentale, mais une moindre validité que la situation naturelle (et parfois, une médiocre connaissance de sa validité). Elle est utilisée en aviation, sécurité nucléaire, conduite automobile, également pour son absence de risque (qui introduit un biais).

- L'information « à la demande » : C'est un protocole de simulation simplifié, dans laquelle l'aspect « temps réel » de la situation n'est pas pris en compte. On présente à l'opérateur des fiches correspondant à des scénarios pré-établis.
- Les micro-mondes : il s'agit de jeux de rôle sur PC, dans lesquels on essaye de reproduire les paramètres pertinents pour la situation (gestion du temps, charge mentale, complexité, etc.).

Si l'on exclut l'approche clinique, les principaux paradigmes sont comparatifs : novices/experts, tâches facile/difficile, charge de travail faible/forte, etc.

Les consignes dépendent de la nature des données que l'on va recueillir. Il peut s'agir de la verbalisation pendant l'activité (pensée à voix haute), avec un biais concernant les modifications possibles de l'activité (au minimum, un ralentissement), et une limitation liée au fait que l'opérateur ne verbalise que ses activités conscientes. Cette méthode est limitée aux situations sans enjeu de gestion du temps. L'auto-confrontation consiste à filmer l'opérateur, puis à le faire réagir lors d'une projection du film. Les biais rencontrés sont liés à la rationalisation *a posteriori* des comportements. Cette méthode est bien adaptée aux situations dans laquelle la gestion du temps est importante. Enfin, les techniques de rappel consistent à arrêter la tâche à un moment donné (par surprise) et à poser des questions sur l'historique de l'activité ou sur son déroulement prévisible. Elles sont adaptées aux problématiques sur l'anticipation, la planification, la « conscience de la situation ».

2.3 Recueil et traitement des données. Le recueil de données expérimentales implique, ensuite, un codage et une méthode d'analyse des protocoles obtenus. Les données elles-mêmes peuvent être l'activité (comportementale ou cognitive), l'état d'un système, des verbalisations, etc.

En psychologie cognitive, le codage de l'activité le plus utilisé consiste à découper l'activité observable (action, gestes, verbalisation, etc.) sous la forme « prédicat-argument » : le prédicat décrit l'activité, l'argument peut décrire le contexte, le but, etc. L'activité complète est décrite sous la forme d'une séquence de prédicats, qui peuvent à leur tour être classés dans des classes d'activité (recherche d'information, interprétation, planification, gestion des risques, coopération, etc.). Le traitement de ce type de données est ensuite statistique.

Certains auteurs utilisent un codage sémiologique, inspiré de Saussure (dyade signifiant/signifié) ou de Peirce (triade signifiant/contexte/signifié) pour décrire l'activité. Cette approche est pertinente pour modéliser les activités cognitives et les compétences face à des systèmes techniques. Une autre approche utilise des modèles empruntés à la linguistique ou à la sociolinguistique : analyse lexicale, recherche dans le discours de marqueurs spécifiques, analyse propositionnelle du discours (APD, Ghiglione, 1986) relevant les structures actant/prédicat/acté, etc.

A partir des données, un travail est nécessaire pour construire une description synthétique de l'activité cognitive, ou un modèle de performance. Cela implique en général des statistiques descriptives (comparées entre deux situations) puis inférentielles, pour évaluer la portée des différences observées. Les variables dépendantes peuvent concerner soit les traitements cognitifs (anticipations, par exemple), soit les représentations (connaissances, par exemple). Par ailleurs, l'étude fine de cas individuels peut avoir une forte valeur heuristique, en particulier pour produire des hypothèses. Finalement, le résultat de l'analyse des données contribue à un modèle de performance.

2.4 Validation. On distingue classiquement la validité interne d'une conclusion (les variations de la variables dépendantes sont-elles dues aux variations de la variables indépendante ?) et sa validité externe (généralisation). Concernant le premier point, il est particulièrement délicat en ergonomie, puisqu'on observe des situations complexes, et le plus souvent sur des effectifs très faibles (typiquement, une dizaine de sujets). Concernant le second point, Hoc (2001) considère que le problème de la validité « écologique » d'une situation expérimentale doit être référée à la situation naturelle plutôt qu'aux oppositions laboratoire/terrain ou recherche fondamentale/appliquée.

3. La charge de travail

Introduction. L'ergonomie du « composant humain » est un courant important qui est illustré par l'évolution des idées sur la charge de travail. L'enjeu est concret, à la fois pour le management et pour les travailleurs : comment organiser le travail de manière à ne pas demander plus que ce qui est tolérable ? Les différentes approches en psychologie ergonomique se heurtent toutes à la difficulté de mesurer cette charge de travail pour avoir un impact concret sur les conditions de travail, et font partie, de fait, des négociations sociales.

Théories La charge de travail est le « coût » psychologique que représente le travail pour un opérateur (à distinguer des exigences du poste, qui sont des contraintes). A l'origine, ce concept a été étudié à travers deux facteurs : l'attention, et la mémoire à court terme.

Dans les années 1950 et 1960, c'est la théorie du « canal unique » de Broadbent (1957) qui domine. Issue de la théorie de l'information, elle postule que les capacités de traitement de l'information sont limitées, ce qui entraîne une limitation du débit d'information, elle-même régulée par le système attentionnel.

Dans les années 1970, ce modèle a été remis en question, notamment à partir des processus d'apprentissage (qui modifient les besoins en ressources attentionnelles pour une tâche donnée). La distinction émerge entre processus séquentiels, sous le contrôle de l'attention, d'un côté, et processus automatiques, massivement parallèles et inconscients, de l'autre. On se met à considérer l'acquisition d'une expertise comme le passage d'un processus d'une catégorie à l'autre. En particulier, on ne peut pas affecter à une tâche donnée un « coût » attentionnel.

Le concept de canal unique est donc amendé, et on parle de ressources limitées pour les opérations sous contrôle conscient, chaque type de traitement (perception, traitement, accès à la mémoire, réponse motrice, etc.) ayant sa propre limite. On distingue également, dans les modèles de performance, les contraintes sur les données (par exemple, la taille des caractères pour une tâche de lecture) et les contraintes sur les ressources cognitives. Wickens (1984) propose un modèle de « compatibilité optimale » visant à adapter la tâche de travail aux capacités de l'opérateur, en prenant en compte à la fois les limitations liées aux ressources et aux données.

Spérandio (1977) a montré (sur des contrôleurs aériens) que les opérateurs tendent à garder constante leur charge de travail, quitte à abandonner certaines tâches (par exemple, le bavardage) quand les tâches prioritaires deviennent exigeantes en ressources. Cette stratégie, qui consiste à éviter la surcharge, est efficace du point de vue du risque : d'une part, la surcharge attentionnelle entraîne une fatigue qui dégrade les performances ; d'autre part, si elle permet de limiter le nombre d'erreurs, celles-ci sont difficilement récupérées.

De Montmollin (1986) a insisté sur l'importance des compétences pour évaluer la charge de travail : à la limite, pour un incompetent, la charge mentale est nulle. Cette dimension est oubliée par les modèles liés aux ressources, qui supposent que les compétences sont acquises, et que seule leur mise en œuvre fait problème. Ce point n'est pas anecdotique, en particulier lorsqu'on compare les performances de deux sujets, s'ils n'ont pas les mêmes compétences.

Dans les années 1990, on s'est aperçu du fait que la sous-charge de travail peut également conduire à une baisse de vigilance, donc à une dégradation des performances. L'automatisation des systèmes techniques a aggravé ce type de risque (contrôle du risque nucléaire, surveillance, contrôle aérien, conduite automobile), alors qu'elle était en partie due à l'idée (issue des travaux précédents) qu'en diminuant la charge de travail, on améliorerait les performances.

Il ressort que dans une tâche donnée, l'opérateur doit gérer ses ressources dans un domaine étroit (qui dépend toutefois de la motivation pour la tâche), ce qui n'est possible que parce qu'il perçoit, subjectivement, cette charge de travail.

Mesure. On utilise trois grandes familles de méthodes pour évaluer la charge de travail (charge mentale) : des mesures physiologiques, le paradigme de la « double tâche », et des techniques de questionnaires (évaluation subjective).

Les mesures physiologiques utilisées sont variées : rythme cardiaque, fréquence respiratoire, EEG, réponse électrodermale, clignements de paupières... Certains indicateurs sont plus sensibles à l'activité physique, d'autres à la charge émotionnelle ou à la vigilance. Ils ont l'avantage d'être des descripteurs objectifs, mais l'inconvénient que les fondements scientifiques sont faibles pour les corrélés à la charge mentale (à moins de la redéfinir comme « ce que mesurent ces indicateurs »).

Le paradigme de la double tâche consiste à demander à l'opérateur de faire deux choses à la fois, l'une étant la tâche principale. La consigne consiste à faire son possible pour la tâche secondaire, sans baisser les performances pour la tâche principale. On mesure les performances dans les deux tâches, ce qui permet (en théorie) de mesurer les ressources nécessaires pour la tâche principale. Malheureusement, non seulement le procédé est intrusif, mais surtout il ne permet pas de prendre en compte les changements de stratégie de l'opérateur.

Les méthodes d'évaluation subjective (entretiens ou questionnaires) sont faciles à mettre en œuvre, mais souffrent des biais habituels de ces méthodes (complaisance, etc.). Les entretiens sont difficilement comparables ; la méthode SWAT de l'armée américaine est basée sur trois échelles sémantiques d'évaluation de la charge de travail (gestion du temps, stress, effort). La hiérarchie entre ces trois axes est fixée pour chaque sujet, par un autre questionnaire.

La variété des méthodes reflète le constat qu'aucune n'est très efficace. Une bonne méthode devrait être non intrusive, avoir une bonne sensibilité, et permettre le diagnostic (en distinguant les différents aspects de la charge mentale). En outre, elle devrait prendre en compte le jugement subjectif de l'opérateur, puisque c'est sur ce jugement qu'il fonde sa stratégie.

4. Rasmussen

4.1 SRK. Jens Rasmussen a réussi, dans les années 1980-1990, à intégrer plusieurs approches pour proposer des paradigme originaux et surtout très fructueux en analyse du risque, notamment le modèle SRK (*Skill, Rules, Knowledge*).

Rasmussen est ingénieur, et travaille à l'origine sur la fiabilité des systèmes complexes. L'accident nucléaire de *Three Miles Island* aux USA, en 1979, l'orienta sur la gestion des facteurs humains du risque. Il considère que la perte de contrôle dans un système complexe est le résultat d'une mauvaise adaptation dynamique de l'opérateur aux contraintes de l'environnement. Il distingue d'abord quatre niveaux de comportement :

1. situation normale ; l'opérateur utilise ses routines de travail.
2. incidents familiers : l'opérateur identifie et traite les problèmes sur la base de ses compétences professionnelles.
3. incidents non familiers : l'opérateur doit construire un modèle mental de la situation pour faire un diagnostic et choisir une option.
4. incident aberrant, l'opérateur doit complètement improviser, il n'a pas de *guideline*.

Dans un deuxième temps, avec le modèle SRK, Rasmussen distingue trois niveaux de comportement :

1. le comportement dominant, basé sur les habitudes (*skill based behavior*). Le risque associé est l'erreur « de routine » (inattention).
2. le comportement basé sur des règles (*rule based*), activé si nécessaire (il est coûteux en ressources) du fait de la situation. Le risque associé est d'activer une règle inadaptée à la situation.
3. le comportement basé sur des connaissances (*knowledge based*), dans le cas où aucune règle ou procédure connue ne permet de résoudre le problème. Il faut trouver soi-même une solution à partir de ses connaissances. Le risque est évidemment de ne pas trouver (sans compter la panique).

La perte de contrôle ne résulte pas d'une défaillance « locale », mais plutôt d'une défaillance du système de gestion cognitive du passage d'un mode de fonctionnement à l'autre. Rasmussen s'intéresse donc au processus dynamique de l'adaptation à la situation. Il a formalisé l'aspect dynamique dans « modèle de l'échelle » (*step ladder*), qui complète le SRK. L'idée est résumée dans un schéma (Fig.1) qui représente les cheminements possibles du processus cognitifs entre les trois niveaux de comportement.

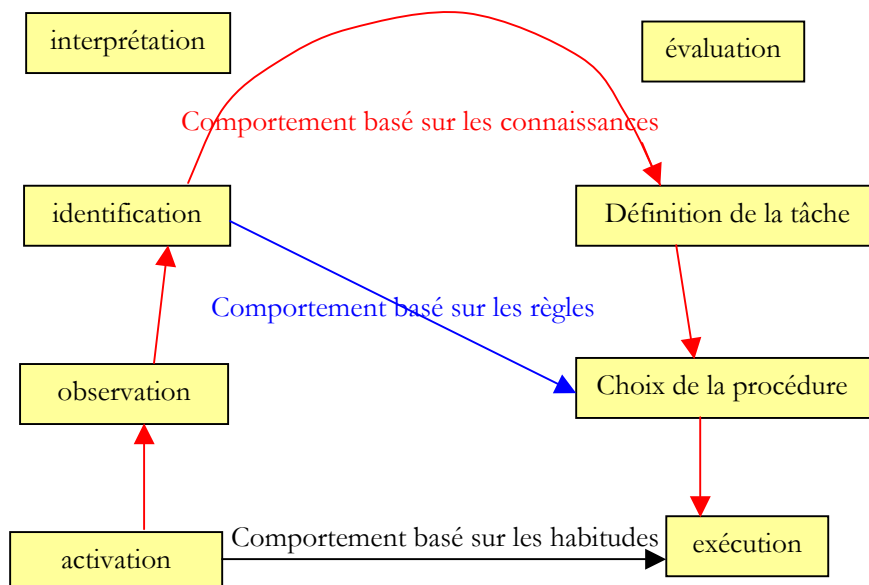


Figure 1 : modèle de l'échelle (J. Rasmussen)

Rasmussen s'est également intéressé aux changements de point de vue dans le processus cognitif : représentation tout/partie (privilegiée quand la situation est sous contrôle) ou représentation fin/moyens (utilisée quand l'opérateur rencontre une difficulté de compréhension), et dans chaque cas, aux changements de « profondeur » (entre la stratégie générale et la gestion des détails). Il décrit le processus cognitif comme une « trajectoire » dans l'espace des approches possibles, qui est un espace à deux variables (axe « fin/moyens » et axe « tout/partie »), les axes étant gradués en fonction du niveau de détail considéré.

Enfin Rasmussen a proposé une voie intermédiaire entre les traditions anglo-saxonne (centrée sur une modélisation des limites cognitives locales) et française (centrée sur l'analyse du décalage entre tâche prescrite et activité observée) concernant la conception des systèmes. Il décrit le champ des activités « légitimes » (pour l'opérateur) comme l'ensemble des procédures qui lui paraissent acceptables ; dans ce champ, l'opérateur doit faire des choix (décider d'une stratégie d'action) selon des critères subjectifs, liés à son analyse de la situation, ses préférences, son historique. A partir de cet « espace (subjectif) des possibles », il décrit le processus cognitif dynamique en s'appuyant sur les niveaux SRK. Le moteur de la dynamique est le sentiment d'adéquation (ou non) du niveau actuel par rapport aux exigences de la situation.

4.2 Joint cognitive system.

A la suite des travaux de Rasmussen, Hollnagel & Woods cherchent à modéliser l'adaptation dynamique des opérateurs en fonction de la situation, à partir d'une conception de l'intelligence centrée sur la flexibilité et les capacités d'adaptation. La flexibilité est liée à la fois à la capacité à changer de niveau (au sens du modèle SRK) et à la variété des règles d'action disponibles. Ces auteurs décrivent le système technique selon les mêmes critères que l'opérateur (savoir faire, capacités d'apprentissage, règles, etc.). Le système opérateur-machine peut alors être décrit comme un *joint cognitive system*, système couplé entre deux agents cognitifs ; et c'est la performance du système qu'il importe d'optimiser. Cette approche permet de tenir mieux compte de la répartition des rôles entre l'homme et la machine, et notamment des changements introduits lorsqu'on modifie l'un des composants (en l'occurrence, la machine).

Le problème de la gestion dynamique des situations a également été repris par Hollnagel, qui décrit le processus en fonction de l'anticipation, qui peut se faire à différents niveaux :

- stratégique (planification sur le long terme) ;
- tactique (exécution procédurale, basée sur une planification à moyen terme) ;
- réactif (exécution réactives, à court terme, en fonction des événements de l'environnement) ;
- aléatoire (situation de panique).

5. Expertise et diagnostic

5.1 *Introduction.* Dans le monde du travail, les notions de compétences et d'expertise sont centrales dans toutes les situations de décision. La psychologie ergonomique les a rendues opérationnelles en s'éloignant progressivement des conceptions de la psychologie générale, et en intégrant la complexité des situations.

Le diagnostic est lié à l'expertise, qui intègre *a priori* l'ensemble du champ de la psychologie (apprentissage, structuration des connaissances, compréhension, décision, etc.). On ne posera pas ici la question de l'acquisition des connaissances, l'opérateur étant supposé expert. L'idée que l'on se fait de l'expertise a variée en psychologie depuis les définitions « de laboratoire » (sur la résolution de problèmes, sur les biais cognitifs, etc.) jusqu'au concept de décision naturelle (*natural decision making*, NDM).

5.2 *L'expertise.* Le terme d'expertise est ambigu : il peut faire référence à une compétence supérieure ou reconnue telle (expertise juridique, médicale, systèmes experts) ou à une qualification par rapport à une tâche. C'est ce second sens qui est utilisé dans le monde du travail et en ergonomie. De ce point de vue, la qualification est une reconnaissance sociale qui a une valeur marchande (en termes de salaire, de statut professionnel).

Le modèle ACT* (Anderson) permet de décrire les différentes étapes de l'acquisition de l'expertise, sous l'angle de la représentation des connaissances. Au stade cognitif, on a un codage déclaratif, et les opérateurs doivent retrouver explicitement les règles apprises. Au stade suivant (associatif), les connaissances pertinentes ont été renforcées, les connaissances sont en partie stockées sous forme procédurale. Au dernier stade (autonomie), les connaissances sont procédurales, et les performances augmentent (en vitesse notamment).

Richard (1983) a introduit la distinction entre la logique de fonctionnement d'un système et la logique d'utilisation. L'expertise, dans ce paradigme, est le passage de l'une à l'autre : le novice raisonne (mal) d'après des connaissances descriptives du système, alors que l'expert s'est construit une représentation fonctionnelle.

La théorie de l'activité (Vygotsky et l'école russe) considère que les objets sont des médiateurs dans l'acquisition des connaissances. Rabadel, par exemple, a montré comment des enfants apprennent à manipuler un robot en assimilant progressivement l'espace d'action et le maniement du robot à leur espace propre (comme l'aveugle avec sa canne). La pratique est le principal facteur de développement de l'expertise, qui est fondée sur des savoirs pratiques qui ne se limitent pas à des connaissances explicites.

D'autres facteurs ont été mis en évidence, comme l'impact du *feed back* de performance sur l'apprentissage, ou le fait que l'expertise n'améliore pas les capacités cognitives de l'expert (par exemple, aux échecs, les grands maîtres n'explorent pas plus d'hypothèses que les novices).

La mesure opérationnelle de l'expertise repose sur des performances accrues dans le domaine considéré. L'expert est plus rapide que le novice, il perçoit la situation de manière plus organisée et plus abstraite (par rapport au novice qui perçoit des indices factuels, sans lien entre eux). Il gère mieux sa mémoire (à court et à long terme) en filtrant ce qui est non pertinent, et se concentre sur l'analyse qualitative de la situation. Il anticipe également mieux sur le fait qu'il va commettre des erreurs, ce qui lui permet de mieux les rattraper.

5.3 *Le diagnostic.* Le diagnostic médical est historiquement le premier à avoir été formalisé comme identification d'un « pattern » connu à partir d'un ensemble de symptômes (séméiologie). Les stratégies mises en œuvre dans le diagnostic font l'objet de recherches. Simon & Lea (1974), par exemple, ont proposé dans un cas particulier (figures géométriques) un modèle en boucle entre recherche de symptômes et formulation d'hypothèses, à partir d'un « espace des exemples » et d'un « espace des règles » (*General rules inducer*, GRI). Les données perçues sont confrontées aux exemples, et les règles permettent de construire des hypothèses. Klarr & Dunbar (1988) propose un modèle qui distingue l'émission et la confirmation des hypothèses, dans un paradigme voisin, qui est proche d'une boucle informatique. Dans ces modèles, le choix initial des « données » pertinentes et le test de sortie ont une importance critique.

Le choix des données est filtré par des biais « top-down », c'est-à-dire dépendants du sujet, de ses intentions et de l'historique plus que des données : fréquence du *pattern*, saillance, mais aussi stratégie de recherche, qui peut être, par exemple, centrée sur des symptômes ou sur des zones d'intérêt.

A partir d'une première sélection de « données », en situation d'information imparfaite, l'opérateur a tendance à retenir l'hypothèse la plus probable (ou la plus grave). Il fait donc un premier diagnostic pour lequel il recherche des confirmations ou des objections ; dans ce processus, sa recherche de nouvelles données est fortement filtrée par sa stratégie de recherche. Ces « cycles de diagnostic », en matière médicale, se déroulent ensuite souvent par élimination d'hypothèses plutôt que par recherche directe. Reason (l'erreur humaine, 1991) définit des primitives de diagnostic : le « *similarity matching* » (par rapport à des symptômes connus) et le « *frequency gambling* » qui permet de faire un diagnostic en retenant l'hypothèse la plus probable. La « théorie du prototype », de son côté, suggère que dans la sélection des données initiales, l'opérateur est également guidé par la recherche de situations prototypiques.

De nombreux modèles ont été développés pour rendre compte des choix humains (théorie de la décision). Les travaux de laboratoire (théorie des jeux en particulier) ont développé des modèles statistiques de choix rationnels, qui ont ensuite été corrigés par différents biais : sur l'estimation des fréquences, sur la saillance de l'information, et plus généralement sur les limites cognitives et perceptives des opérateurs, sur les stratégies de choix de solutions sous-optimales mais sécurisantes, ou sur la cohérence de l'opérateur (théorie de la dissonance cognitive, Festinger, 1957).

Newell (1968) propose une définition opérationnelle du jugement dans la chaîne séquentielle « perception → identification → décision → action → évaluation ». Pour lui, le jugement est un arbitrage (rapide), qui engage une décision d'action. Cette définition, qui remonte au moins à Descartes, est remise en cause par les observations sur la décision en situation réelle : C'est l'approche de la *Natural Decision Making* (NDM). Ce courant de recherche observe qu'en pratique, les opérateurs sont dans des situations complexes, dans lesquelles ils n'ont pas à choisir entre quelques termes bien identifiés d'une alternative, mais à dans un continuum largement implicite. De plus, aucune solution ne résout entièrement le problème, et chacune peut être remise en cause par des circonstances. Les stratégies sont pragmatiques : les opérateurs cherchent des solutions locales, sous-optimales, et pas trop coûteuses en ressources ; par contre, ils sont lucides sur la qualité de leur décision, et se concentrent sur l'exécution pour éventuellement la remettre en cause. Contrairement aux problématiques « de laboratoire », la difficulté pour l'opérateur n'est pas dans le choix de la meilleure action à effectuer, mais dans l'identification de la situation présente par rapport aux situations prototypes connues (catégorisation). Concernant les biais identifiés en situation expérimentale, les travaux en NDM ont montré que quantitativement, ils étaient sans grande importance pratique. D'autre part, le concept d'*affordance* proposé par Gibson a été largement validé. Enfin et surtout, ils ont introduit les notions de risque et d'adaptation de l'environnement, qui permettent de comprendre qu'une mauvaise solution peut être satisfaisante, soit que le risque associé soit faible, soit que les autres acteurs de l'environnement adaptent dynamiquement leur comportement (par exemple en conduite automobile). Les opérateurs tolèrent donc des solutions « mauvaises » si elles ne les conduisent pas dans une impasse, étant donnée leur expertise (marge d'acceptabilité).

6. L'erreur humaine

6.1 Introduction. L'erreur humaine (de l'opérateur de « première ligne ») est reconnue comme étant à l'origine de la majorité des accidents dans les domaines industriel, médical ou de la conduite. Les enjeux ont conduit les pouvoirs publics, depuis les années 1970, à essayer de diminuer ce facteur, avec des résultats mitigés. On est passé d'un objectif de suppression des erreurs, dans les années 1970, à la notion de gestion dynamique de l'erreur.

6.2 L'erreur comme moyen d'étude. L'erreur est un indicateur utilisé, depuis les débuts de la psychophysique, pour évaluer les performances. A partir des années 1970, elle est devenue un objet de recherches, d'abord à travers les biais cognitifs (par rapport à un raisonnement rationnel) : biais sur l'évaluation de la fréquence des événements rares, biais de conservatisme, biais d'habitude, biais de conformité au groupe, etc.

Dans les années 1980, trois modèles explicatifs sont proposés : H. Simon (1982) décrit les sujets humains comme disposant d'une « rationalité limitée » (limitation des ressources cognitives), faisant des paris pour

diminuer cette complexité. Johnson-Laird (1983) suppose que le raisonnement procède plus par catégorisation que par inférence logique. Tversky et Kahneman (1974) montrent que les décisions humaines ne sont pas Bayésiennes, mais dépendent de deux biais qu'il faut envisager en situation : la ressemblance (catégorisation) et la disponibilité cognitive.

Plus récemment (Cf. 6.5) c'est l'idée de biais qui a été abandonnée, en considérant que l'erreur est un élément nécessaire dans la gestion du risque. Cette approche avait déjà été effleurée par la théorie de la forme, avec l'idée qu'on comprend mieux les processus cognitifs à travers les erreurs que dans des situations nominales dans lesquelles des processus essentiels sont masqués.

6.3 La production des erreurs. Norman, Rasmussen et Reason ont donné, dans les années 1970, des cadres théoriques pour aborder l'erreur humaine.

- D. Norman (1981) est influencé par les idées de Schiffrin & Schneider et de Kahneman sur les processus attentionnels dynamiques et la gestion des ressources cognitives. Il propose une « théorie de l'action » avec l'objectif de rendre compte à la fois des succès et des échecs ; il cherche donc un modèle prédictif des erreurs. Il distingue notamment les « ratés » (*slip*) qui sont dus à une activation impropre de schémas d'action, et ceux qui sont dus à une exécution impropre (mélange de deux schémas, par exemple).
- J. Rasmussen (Cf. 4.1) propose une distinction entre trois niveaux de fonctionnement cognitif, basé sur des habitudes, des règles ou des connaissances (modèle SRK). Pour lui, le point central pour comprendre l'erreur humaine est le contrôle cognitif qui fait passer l'opérateur d'un niveau à l'autre.
- J. Reason synthétise les apports de Norman et Rasmussen, en distinguant trois types d'erreurs : les erreurs de routine (ratés de Norman, ou niveau S de SRK) et les fautes (*fault*) qui peuvent être des erreurs d'activation des connaissances (proche du niveau R de SRK) ou des erreurs de possession de connaissance (proche du niveau K de SRK).

6.4 La récupération des erreurs. L'erreur n'est grave, au sens du processus qui intéresse l'opérateur, que si ses conséquences le sont. Et on peut contrôler ces conséquences par des mécanismes de récupérations d'erreur. Par exemple, dans un processus d'écriture, par une relecture ou par une recherche active pendant le processus d'écriture.

Allwood & Montgomery (1982) ont jeté les bases d'une description du processus de récupération des erreurs, à partir d'une situation scolaire (détection de l'erreur, diagnostic, récupération). Ils décrivent quatre stratégies : l'*affirmative evaluation*, basée sur des connaissances portant sur le résultat à obtenir ; le contrôle de routine (*standard check*) ; le contrôle orienté par une hypothèse a priori sur la nature de l'erreur ; et la « suspicion », recherche d'erreur sans méthode du fait d'un doute insistant. Le résultat le plus important de ces travaux, c'est que le taux de défaillance est lié au taux de détection d'erreurs, et pas au taux d'erreur commises. C'est un premier indice pour soupçonner que l'erreur est un outil utilisé par l'opérateur pour contrôler la situation.

Rizzo et al. (1987) cherchent à relier les théories de Norman et Reason et les résultats de Allwood. Ils obtiennent des résultats comparables à Allwood dans un paradigme expérimental différent (gestion de bases de données) : les « ratés » augmentent avec la difficulté de la tâche, mais la récupération augmente avec l'expertise. La stratégie *standard check* est celle qui différencie le plus experts et novices. Ils ne trouvent pas de différence entre novices et experts pour la détection des erreurs R, mais une supériorité des experts pour les erreurs K. Il ressort également de ces travaux un modèle cognitif du passage du novice à l'expert, et le développement de la notion de dissonance (entre les attentes et les observations).

Les résultats sur la production et la détection d'erreur peuvent se regrouper dans un schéma reliant performance, taux d'erreur et taux de détection : dans le domaine A (Cf. Figure 2), la régulation est mauvaise, les performances sont faibles par excès d'erreurs (ratés). Le domaine B est optimal ; le domaine C correspond à un taux d'erreur minimal (forte concentration) mais aussi à une chute des performances du fait d'une difficulté à récupérer les erreurs ; de plus, ce régime n'est pas tenable très longtemps (épuisement), et on passe dans le domaine D (perte de contrôle).

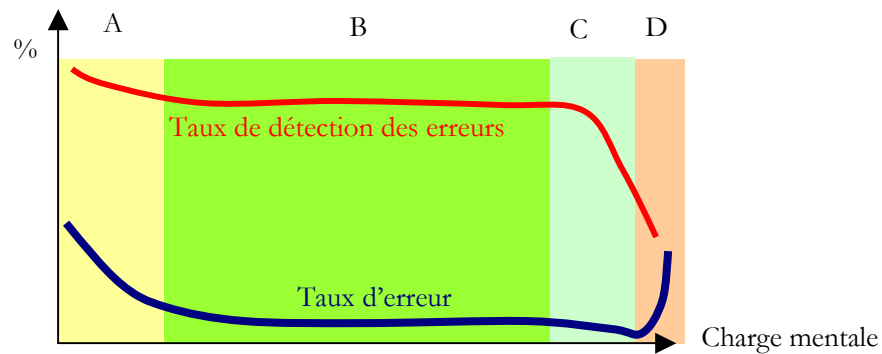


Figure 2 : compromis entre production et détection d'erreurs

La notion de fiabilité du système a également mis l'accent sur la prise en compte des conséquences de l'erreur dans leur régulation par l'opérateur : certaines erreurs, bien qu'identifiées, ne sont pas récupérées (les conséquences immédiates sont sans gravité, ou même elles ouvrent une possibilité inattendue de solution).

6.5 La défaillance.

On en arrive à se demander ce qu'est une erreur : est-ce le fait de ne pas atteindre un objectif qu'on s'est soi-même fixé (définition du psychologue), un écart à une norme (conception en vigueur dans l'industrie), ou un accident, mesuré par la gravité de ses conséquences (approche sécurité des systèmes) ? Chaque domaine se donne sa définition légitimement, mais en pratique, cela génère des incompréhensions.

Les travaux des dix dernières années ont attiré l'attention sur deux résultats, dans le domaine de la sécurité des systèmes (approche systémique du risque) :

- L'erreur n'est pas un échec, c'est un aspect consubstantiel de l'activité humaine. Elle est le reflet des stratégies mises en place par l'intelligence, qui dans un souci de performance (réduction de la complexité, anticipation) comporte une prise de risque. Mais ce risque est assumé, et même utilisé dans les stratégies d'adaptation et de récupération. Ce qui émerge de cette approche, c'est aussi la distinction entre l'erreur et ses conséquences.
- Un accident n'est pas le résultat d'une erreur. C'est le résultat d'un enchaînement de causes, qui fait que l'erreur n'est pas détectée, ou trop tard, ou que sa gravité est mal évaluée. L'accident est le révélateur d'une faiblesse des « défenses » du système, puisqu'il faut considérer que les erreurs, en elles-mêmes, font partie de son fonctionnement normal. Un système bien conçu possède des défenses « en profondeur » contre les conséquences des erreurs qui surviennent inévitablement.

On s'intéresse plus, dans cette approche, au système et à ses défenses qu'à l'opérateur individuel et à ses erreurs, ou alors pour comprendre comment une erreur dégénère en accident du fait de la faiblesse du système. Suite aux travaux de Allwood et de Rizzo, la notion de détection et de récupération des erreurs devient plus importante que l'évitement des erreurs, qui était la notion centrale de l'approche fiabiliste, et qui n'est plus un objectif en soi.

7. Perspectives

Ce survol des bases de la psychologie ergonomique permet de présenter quelques thématiques de recherche actuelles :

- Le contrôle de processus (contrôle des situations dynamiques) correspond aux situations qui évoluent même en l'absence de toute activité de l'observateur : c'est le cas de la conduite automobile, mais aussi de la conduite de processus industriels. Ce domaine de recherche développe des concepts sur l'anticipation, la planification et la maîtrise des situations.
- La conception des systèmes homme-machine s'appuie sur des bases théoriques (*joint cognitive system*, théorie de la perception écologique de Gibson). Elle est centrée sur l'adaptation dynamique de l'opérateur (et de la machine) à son environnement. Elle a conduit à une théorie « écologique » de la maîtrise des risques (Amalberti) et à des méthodes de conception « écologiques ».

- La coopération (entre opérateurs) est très peu abordée en psychologie (elle l'est principalement en psychologie sociale, avec le paradigme du « petit groupe »). Cette thématique émerge actuellement en psychologie cognitive, que ce soit à travers la communication verbale ou les activités réparties. Elle se situe à l'interface de plusieurs disciplines (psychologie, sociologie, intelligence artificielle). Des concepts clé ont été proposés, comme la notion de « référentiel commun ».
- L'apprentissage (formation des compétences) bénéficie de toutes les recherches qui ont porté sur la distinction novice/expert. Les recherches s'intéressent également, au niveau collectif de l'entreprise, à la capitalisation des connaissances.
- Des aspects plus directement physiologiques liés au travail (stress, vieillissement, fatigue) sont pris en compte à travers l'adaptation et les stratégies de compensation utilisées par les opérateurs.
- Le lien entre activités symboliques et sub-symboliques (qui recouvre à peu près la distinction entre activités conscientes et inconscientes) est exploré, notamment du fait que la verbalisation est très utilisée pour fournir des données, ce qui ne donne accès qu'au niveau symbolique.
- La psychologie ergonomique est à l'interface de plusieurs disciplines, et notamment de disciplines émergentes comme l'anthropologie cognitive ou la sociologie cognitive. Des enrichissement mutuels sont prévisible entre les différentes approches.