



HAL
open science

Rechercher les causes des actions erronées du formé pour les proposer au formateur

Naïma El-Kechai, Christophe Després

► **To cite this version:**

Naïma El-Kechai, Christophe Després. Rechercher les causes des actions erronées du formé pour les proposer au formateur. Jun 2007. hal-00161551

HAL Id: hal-00161551

<https://hal.science/hal-00161551v1>

Submitted on 11 Jul 2007

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.

Rechercher les causes des actions erronées du formé pour les proposer au formateur

Naïma El-Kechaï, Christophe Després

Laboratoire d'Informatique de l'Université du Maine (LIUM)

Avenue Laënnec,

72085 Le Mans Cedex 9, France

Naima.El-kechai@lium.univ-lemans.fr, Christophe.despres@lium.univ-lemans.fr

RÉSUMÉ. Les procédures professionnelles à risques ou d'urgence se caractérisent, entre autres, par leur « intolérance » aux erreurs. Pour apporter une assistance opportune et pertinente à un formé qui réalise ce type de procédures, le formateur a besoin de connaître les erreurs commises par le formé mais plus encore, les causes qui sont à l'origine de ces erreurs. Dans le but d'assister le formateur dans sa tâche de suivi, nous proposons un mécanisme qui permet d'automatiser la recherche et l'inférence des causes sous-jacentes aux actions erronées du formé, en fournissant des explications, i.e. les liens causaux, ayant conduit à ces inférences. Les résultats obtenus par ce mécanisme sont ensuite proposés au formateur. Ce mécanisme est fondé sur CREAM, une méthode d'analyse de la fiabilité humaine et est implémenté en utilisant la théorie de l'évidence de Dempster-Shafer.

MOTS-CLÉS : Mécanismes causaux des actions erronées, Formation aux procédures à risques, Assistance au formateur.

1. Introduction

Le contexte général de ce travail est lié à la conception et au développement des environnements virtuels pour la formation (EVF). Les activités d'apprentissage qui nous intéressent concernent la réalisation de procédures professionnelles qui peuvent être complexes (diagnostic de pannes), comporter des risques (vérification et réparation des appareils de voie sur les lignes à grande vitesse), revêtir un caractère d'urgence (protocoles des urgentistes) etc. Ces procédures se caractérisent par leur « intolérance » aux erreurs dans le sens où elles peuvent occasionner de lourdes conséquences. L'objectif de l'apprentissage est que le formé « respecte » la procédure, le rôle du formateur consiste donc à repérer les *erreurs* du formé et à en rechercher les causes afin d'y remédier, la notion d'*erreur* étant définie ici comme un *écart* à la procédure prescrite.

Notre travail s'articule donc sur l'analyse de l'activité du formé en vue de donner des informations pertinentes au formateur sur ce que le formé fait : ses objectifs, les plans qu'il met en œuvre pour y parvenir et les erreurs qu'il commet. Pour ce faire, nous avons proposé dans [EL-KECHAI & DESPRES 06] [EL-KECHAI 06] une approche en trois points : (1) proposition du langage METISSE pour décrire les procédures ; (2) utilisation de la classification des actions erronées de [HOLLNAGEL 93, 98, 00] pour identifier et caractériser les *écarts* à la procédure en nous focalisant sur les actions observables du formé ; et (3) proposition d'un mécanisme de reconnaissance de plans qui, en se basant sur le modèle METISSE, permet de détecter les erreurs du formé en s'appuyant sur la classification de Hollnagel.

L'objet de cet article se situe dans la suite des propositions énumérées ci-dessus. Nous proposons un mécanisme qui permet d'assister le formateur dans sa tâche de suivi et d'assistance aux formés. Plus précisément, nous proposons de rechercher les mécanismes causaux (inobservables) qui peuvent expliquer l'occurrence des actions erronées (observables) du formé. Les résultats produits par ce mécanisme sont alors proposés au formateur qui, ainsi, dispose d'informations pertinentes sur les *erreurs* et peut décider de l'assistance à apporter au formé. Ce mécanisme se fonde sur *CREAM* [HOLLNAGEL 98], une méthode d'analyse de la fiabilité humaine. Pour opérationnaliser ce mécanisme, nous utilisons la théorie de l'évidence de Demspster-Shafer [DEMPSTER 67] [SHAFER 76].

2. Travail déjà réalisé

Pour identifier ce que le formé fait, nous avons présenté dans [EL-KECHAI & DESPRES 06] [EL-KECHAI 06] une approche qui consiste en trois propositions. Pour décrire les procédures, nous avons proposé METISSE, un langage de description de tâches orienté suivi et assistance de l'apprenant. METISSE est inspiré du modèle ergonomique MAD* [SCAPIN & BASTIEN 01] que nous avons modifié et adapté aux spécificités de l'apprentissage en y intégrant le paradigme Tâche/Méthode [TRICHET & TCHOUNIKINE 99]. Pour détecter les erreurs du formé, nous avons utilisé la classification des actions erronées de [HOLLNAGEL 93, 98, 00]. Cet auteur fait une distinction claire entre une action

observable réalisée par un agent et les mécanismes causaux qui l'ont générée. Il rejette le terme « erreur humaine » parce que désignant, de manière confuse, ces deux aspects et utilise le terme « actions erronées » pour faire référence aux actions observables. Pour mettre en évidence cette distinction, Hollnagel utilise les termes *phénotypes* et *génotypes* pour désigner, respectivement, les actions erronées et les mécanismes causaux sous-jacents. Les *phénotypes* sont utilisés pour inférer les *génotypes*. Enfin, nous avons proposé un mécanisme de reconnaissance de plans (RP) qui, en se basant sur la procédure décrite avec le langage METISSE, permet d'identifier les plans du formé et de détecter ses actions erronées conformément à la classification de Hollnagel.

Dans ce qui suit, nous allons montrer comment en prenant comme entrée une action erronée du formé (un *phénotype*), résultat du travail présenté ci-dessus, nous pouvons proposer au formateur, de manière automatique, les mécanismes causaux (les *génotypes*) qui sont susceptibles d'expliquer l'occurrence du *phénotype*. Pour cela, nous proposons d'utiliser *CREAM*, une méthode d'analyse de la fiabilité humaine de seconde génération.

3. Des mécanismes observables aux mécanismes inobservables

Hollnagel précise qu'un modèle phénotypique des actions erronées ne sert pas simplement à décrire tous les comportements inattendus observables, mais que la valeur ajoutée d'un tel modèle est qu'il permet de fournir aux analystes des suggestions sur les formes génotypiques qui ont conduit à de tels comportements. Ainsi, plutôt que de construire un ensemble de patterns de déviations, Hollnagel adopte une approche plus structurée, la méthode *CREAM* [HOLLNAGEL 98] qui traite de l'analyse de la fiabilité humaine (Human Reliability Analysis ou *HRA*).

Bien que les méthodes de *HRA* aient été appliquées, pour la plupart, à l'étude et à la prédiction de la performance humaine dans le contexte des systèmes critiques, nous pensons qu'elles peuvent constituer un cadre intéressant pour suivre et comprendre les erreurs produites par les formés dans les situations d'apprentissage qui nous intéressent. En effet, les procédures professionnelles que nous visons peuvent comporter des risques ou des dangers et les *erreurs* peuvent avoir de lourdes conséquences. De ce fait, l'application des méthodes de *HRA* dans l'apprentissage de telles procédures permet de mieux « comprendre » pourquoi ces erreurs surviennent.

3.1. *CREAM*

CREAM (*Cognitive Reliability and Error Analysis Method*) peut être utilisée comme une méthode d'analyse prédictive (prédiction de la performance d'un opérateur) ou rétrospective (analyse d'événements, a posteriori, permettant de comprendre les causes des actions erronées), moyennant une taxonomie de *phénotypes* et de *génotypes* [HOLLNAGEL 98]. Nous nous plaçons dans l'analyse rétrospective puisque nous recherchons les mécanismes causaux sous-jacents aux actions erronées du formé. *CREAM* est composée de trois éléments : un modèle de cognition, une méthode et un schéma de classification. Pour les besoins de l'article, nous détaillons uniquement les deux derniers éléments.

3.2. La méthode CREAM

La méthode décrit comment effectuer l'analyse des actions erronées en vue d'inférer leurs causes probables, et comment des concepts et des catégories sont appliqués pour fournir des explications sur ces inférences. Cette méthode décrit explicitement comment chaque étape est réalisée et définit des règles de terminaison qui déterminent quand l'analyse ou la prédiction sont arrivées à terme. Cette méthode est récursive dû à l'organisation de son *schéma de classification* (cf. §3.3).

L'analyse est effectuée suivant trois étapes. L'étape 1 consiste à déterminer et décrire le contexte en utilisant la notion des *Conditions Communes de Performance* (*Common Performance Conditions* ou *CPC*). Succinctement, les *CPC* sont proposées pour « capturer » les aspects essentiels de la situation et les conditions de travail qui ont/peuvent avoir une incidence sur le travail et l'occurrence des actions erronées. Les *CPC* sont en nombre limité pour garantir l'utilisabilité de la méthode. L'étape 2 consiste à décrire les différents *modes d'erreur* ou *phénotypes*. L'étape 3 consiste à identifier les *génotypes* qui peuvent expliquer la production des *phénotypes* et ceci en tenant compte des *CPC*.

Avant d'aller plus loin, nous précisons la terminologie utilisée. L'étape 3 est composée de plusieurs itérations qui fournissent les liens causaux expliquant l'occurrence de l'action erronée. Chaque itération fournit un « effet » et une « cause » laquelle devient à son tour l'« effet » de l'itération suivante. Pour éviter toute confusion sur l'utilisation de ces termes dans l'ensemble des itérations de l'analyse, les termes « effet » ou *phénotype* et « cause » ou *génotype* sont utilisés pour le début et la fin de l'analyse ; les effets intermédiaires sont appelés des *conséquences* et les causes intermédiaires sont appelées des *antécédents*. Un *antécédent* peut être *général* ou *spécifique*. Il en est de même pour une *conséquence*.

Le *phénotype* est le point de départ de l'analyse rétrospective. A partir de ce point, l'analyse est effectuée de manière récursive comme illustré dans la figure 1. A partir du *phénotype*, les *antécédents généraux* sont déterminés en utilisant des tables qui représentent les liens existant entre les différents groupes du *schéma de classification* (cf. §3.3). Pour chaque *antécédent général*, les *conséquences générales* correspondantes sont recherchées en utilisant également ces tables. S'il en existe, le processus est répété pour chaque *conséquence générale*. L'analyse arrive à terme quand : (1) un(des) *antécédent(s) spécifique(s)* a(ont) été trouvé(s) ; (2) aucun *antécédent général* n'a été trouvé pour une *conséquence générale* donnée ; ou (3) aucun *antécédent* « raisonnable » relativement au contexte n'a été trouvé.

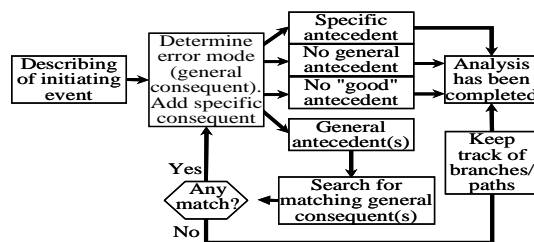
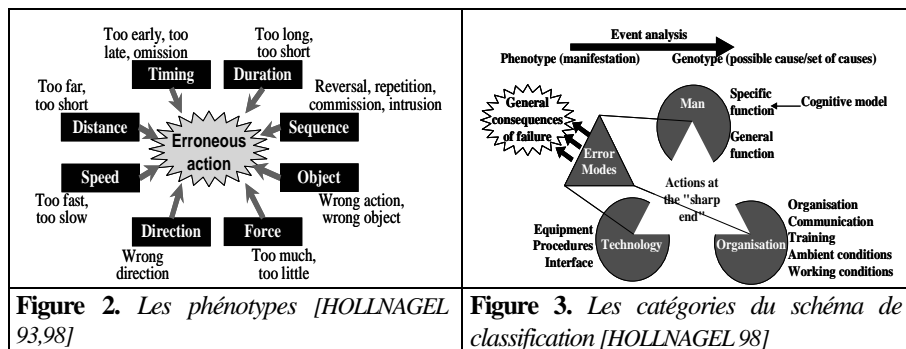


Figure 1. L'analyse rétrospective de la méthode CREAM [HOLLNAGEL 98]

3.3. Le schéma de classification de CREAM

Le schéma de classification de CREAM consiste en quatre catégories interconnectées de manière flexible. La première catégorie fait référence aux *phénotypes*, et les trois autres font référence aux *génotypes*. Nous en donnons ici une description sommaire, voir [HOLLNAGEL 98] pour plus de détails.

Les *phénotypes* (fig. 2) qui décrivent les observations du comportement, sont constitués de quatre groupes : *action au mauvais moment* (temps, durée) ; *action de mauvais type* (distance, vitesse, direction, force) ; *action sur le mauvais objet* (voisin, similaire ou sans relation) et *action au mauvais endroit* (problème de séquence).



Les *génotypes* sont de trois catégories: les *génotypes associés à la personne, à la technologie et à l'organisation* (fig. 3). La catégorie *génotypes associés à la personne* est composée de trois groupes d'*antécédents*. Le premier concerne les *fonctions cognitives spécifiques* de la personne et les deux autres concernent des fonctions plus générales : les *fonctions temporaires* et les *fonctions permanentes*. Les *fonctions cognitives spécifiques* permettent d'expliquer l'action observée. Pour catégoriser les fonctions qui sont la base de la pensée et de la prise de décisions, Hollnagel différencie l'*analyse* de la *synthèse*. Il existe ainsi quatre sous-groupes, deux pour la partie *analyse* : le sous-groupe *observation* (observations manquées, fausses observations et erreurs d'identification) et le sous-groupe *interprétation* (erreurs de diagnostic, de raisonnement, de décision, interprétation tardive, prédiction incorrecte) ; deux pour la partie *synthèse* : le sous-groupe *planification* (plans inadéquats et erreurs de priorité) et le sous-groupe *exécution* (déjà représenté par la catégorie *phénotypes*). Les *fonctions temporaires associées à la personne* décrivent les états psychologiques, physiques et émotionnels de la personne qui peuvent avoir une durée limitée (problèmes de mémoire, peur, distraction, fatigue, inattention, stress et variabilité de la performance). Enfin, les *fonctions permanentes associées à la personne* décrivent les caractéristiques constantes de l'individu (handicap, style et biais cognitifs). La seconde catégorie, les *génotypes associés à la technologie*, couvre les dysfonctionnements et défauts techniques, l'inadéquation de procédures et les problèmes d'interface. Cette catégorie est composée de quatre groupes d'*antécédents* : *équipement* (défaillance matérielle et logicielle); *procédures* (procédures inadéquates); *problèmes d'interface temporaires* (limitation d'accès, information ambiguë et/ou incomplète) et *problèmes d'interface permanents* (problèmes d'accès, problème d'étiquetage/nommage). La troisième et dernière catégorie, les *génotypes*

associés à l'organisation, couvre les *génotypes* liés à l'environnement et est composée de cinq groupes d'*antécédents*: *communication* (problème de communication, manque d'informations); *organisation* (problème de maintenance, de contrôle qualité, de management, pression sociale etc); *formation* (habiletés et/ou connaissances insuffisantes); *conditions ambiantes* (température, bruit etc.), et *conditions de travail* (demande excessive, horaires irréguliers etc.).

4. Utilisation de CREAM dans notre contexte

Nous utilisons *CREAM* pour inférer les *génotypes* qui peuvent expliquer l'occurrence des *phénotypes* du formé afin de les proposer au formateur. *CREAM* présente trois avantages pour notre problématique : (i) le point de départ de l'analyse rétrospective de *CREAM* est le *phénotype* et dans notre cas, le *phénotype* est obtenu par le mécanisme de RP que nous avons proposé dans [EL-KECHAI & DESPRES 06] [EL-KECHAI 06]; (ii) *CREAM* ne fonctionne pas comme une « boîte noire » à partir du moment où cette méthode fournit, après plusieurs itérations, les *génotypes* ou causes possibles qui peuvent expliquer la production du *phénotype* mais plus encore, les différents liens causaux possibles qui ont permis de remonter du *phénotype* aux *génotypes*. En d'autres termes, les liens entre *conséquences* et *antécédents* sont visibles et clairs. Ainsi, le formateur est plus à même de « comprendre » les inférences qui ont conduit aux résultats qui lui sont proposés; (iii) le troisième avantage de *CREAM* est que cette méthode peut être appliquée à différents domaines et applications. Ceci est dû principalement à une certaine « généralité » de son *schéma* de *classification*. Néanmoins, Hollnagel précise que ce *schéma* peut être modifié et adapté à une certaine application ou domaine en modifiant certaines catégories. Dans ce qui suit, nous résumons les principales modifications et adaptations que nous avons faites.

4.1. Modification du schéma de classification de CREAM

Le *schéma de classification* de *CREAM* répond à deux critères. Le premier est que les groupes de la classification doivent respecter le principe de différenciation et de spécialisation entre les trois catégories de *génotypes*. Le second critère est que le nombre de groupes doit être suffisamment important pour pouvoir reconnaître tous les *génotypes* ou causes « raisonnables ». Cependant, il ne doit pas être trop important sinon l'analyse serait fastidieuse.

Pour rendre le schéma de classification de *CREAM* plus en accord avec notre contexte, nous avons supprimé certains *antécédents* et modifié d'autres. Par exemple, nous avons supprimé les *antécédents* fortement liés à l'industrie comme : *problème de maintenance*, *contrôle qualité inadéquat* etc. Nous avons également remplacé quelques termes par d'autres comme : *conditions de travail* par *conditions d'apprentissage*, *équipement* par *ressource*, *supérieur hiérarchique/collègues* par *formateur/autres formés*. De plus, l'usage de la réalité virtuelle peut induire d'autres problèmes liés à ce média. Pour cela, nous avons ajouté quelques *antécédents spécifiques* comme : *mauvaise manipulation d'objets virtuels*, *mauvaise orientation dans l'espace virtuel*, *mauvaise qualité visuelle*, *temps de latence* etc.

Pour rechercher les *causes* sous-jacentes aux actions erronées du formé, nous avons besoin de connaître à quelle catégorie appartient chaque *antécédent* (*général et spécifique*). La dernière modification que nous avons apportée consiste donc à répartir les *antécédents spécifiques* dans les trois catégories de la classification : *Personne*, *Technologie* et *Organisation*, notées respectivement *P*, *T* et *O*. Par exemple, l'*antécédent spécifique surcharge cognitive* est associé à la catégorie *P*, *tâches parallèles* à la catégorie *O* et *mauvaise qualité visuelle* à la catégorie *T*.

4.2. Le graphe causal

Comme déjà mentionné, les deux premières étapes de la méthode *CREAM* consistent à décrire respectivement les *CPC* et les différents *phénotypes*. Dans notre cas, le *phénotype* est fourni par le mécanisme de reconnaissance de plans (cf. §1). La dernière étape consiste à rechercher les *génotypes* plausibles qui peuvent expliquer l'occurrence du *phénotype* et ceci en utilisant les *CPC* de l'étape 1.

Nous pensons qu'un bon point de départ pour automatiser la méthode *CREAM* est d'identifier les catégories qui semblent les plus pertinentes pour « expliquer » l'occurrence de l'action erronée du formé, i.e. le *phénotype*. Pour ce faire, nous considérons le *schéma de classification* de *CREAM* comme un *graphe causal* où les noeuds représentent les différents *antécédents* et *conséquences* et les arcs les *liens causaux*.

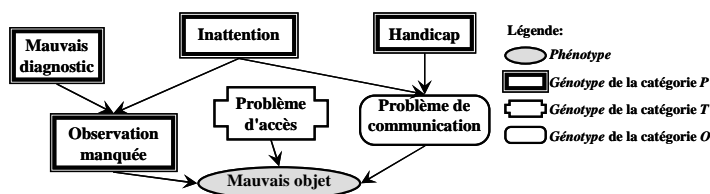


Figure 4. Un graphe causal simplifié du phénotype « Mauvais objet »

Par exemple, la figure 4 illustre une partie simplifiée du graphe associé au *phénotype Mauvais objet* (le formé a actionné ou appuyé sur un objet différent de celui qui est attendu). Pour des raisons de clarté, nous donnons un exemple simplifié. Le graphe entier est illustré par la figure 5. Dans l'exemple de la figure 4, *Mauvais objet* a trois *antécédents* : *observation manquée* qui appartient à la catégorie *P*, *problème d'accès* qui appartient à la catégorie *T* et *problème de communication* qui appartient à la catégorie *O*. Par ailleurs, *observation manquée* et *problème de communication* ont chacun deux *antécédents*, *Mauvais diagnostic* et *Inattention* pour le premier ; *Handicap* et *Inattention* pour le second. Le sens des flèches représente le lien de causalité : *Inattention* peut induire une *observation manquée* qui peut induire, à son tour, l'utilisation d'un *mauvais objet*. Dans le graphe de l'exemple, il y a quatre feuilles qui représentent quatre *génotypes* n'ayant pas d'*antécédents* : *Mauvais diagnostic*, *Inattention*, *Problème d'accès*, et *Handicap*. Ces quatre *génotypes* sont les causes plausibles qui peuvent expliquer l'utilisation d'un mauvais objet. Pour les classer du plus plausible au moins plausible, nous proposons de : (i) pondérer les différentes catégories *P*, *T*, et *O* suivant le contexte puisque chaque noeud (*conséquence*, *antécédent*) appartient à l'une de ces

catégories; (ii) propager ces poids dans le graphe en utilisant la théorie de l'évidence de Dempster-Shafer [DEMPSTER 67] [SHAFFER 76].

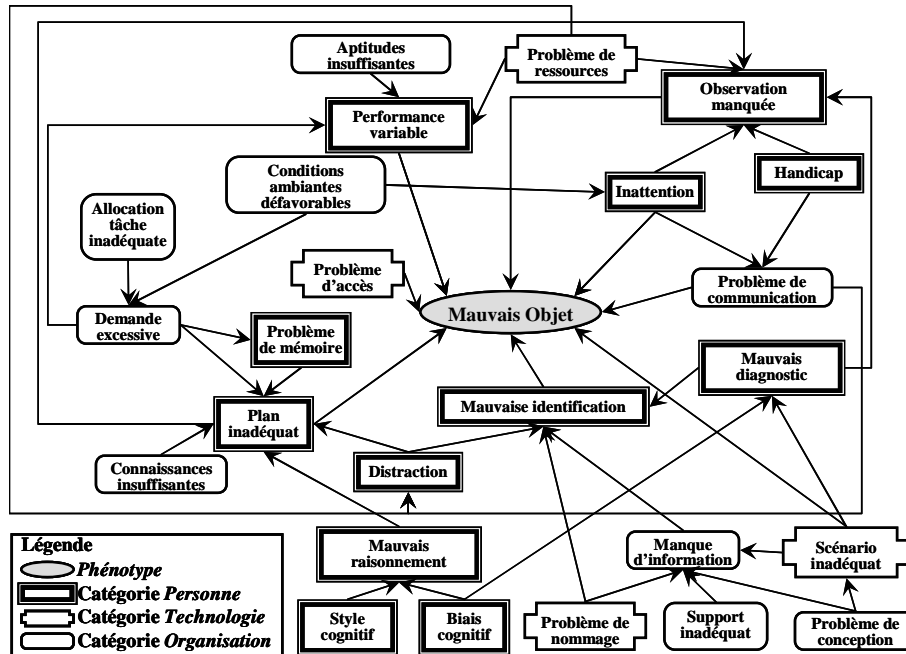


Figure 5. Le graphe causal complet du phénotype « Mauvais objet »

4.3. Pondération des trois catégories P, T et O

Comme déjà évoqué, l'objectif des CPC est de fournir une description adéquate du contexte en utilisant un nombre limité de facteurs qui peuvent influencer la performance. L'identification des CPC telle que proposée dans CREAM est faite manuellement par des analystes humains. Dans notre contexte, cela nécessiterait une grande implication du formateur. Or l'objectif principal de ce travail est d'assister le formateur dans sa tâche de suivi et non de le surcharger. Pour cette raison, nous proposons d'automatiser cette identification en lui posant quelques questions avant la session d'apprentissage. Ceci nous permet ainsi d'initialiser les poids des trois catégories auxquelles appartiennent les conséquences et les antécédents. Actuellement, ce questionnaire Oui/Non est relativement simple et consiste en six questions (fig. 6), deux par catégorie (P, T et O). Ces questions sont inspirées de celles proposées par Hollnagel aux analystes qui utilisent CREAM. Le calcul du poids des catégories se fait comme suit :

$$Poids(C_i) = \frac{\text{Nombre de «Oui» aux questions liées à la catégorie } C_i}{\text{Nombre total de «Oui»}} \quad (1)$$

où C_i est une des catégories : P, T ou O.

Ce poids est compris entre 0 et 1. Si toutes les réponses du formateur sont négatives, ou si elles sont toutes affirmatives, ou s'il ignore le questionnaire, nous considérons que les trois catégories sont équiprobables et le poids de chacune est alors de 0.33.

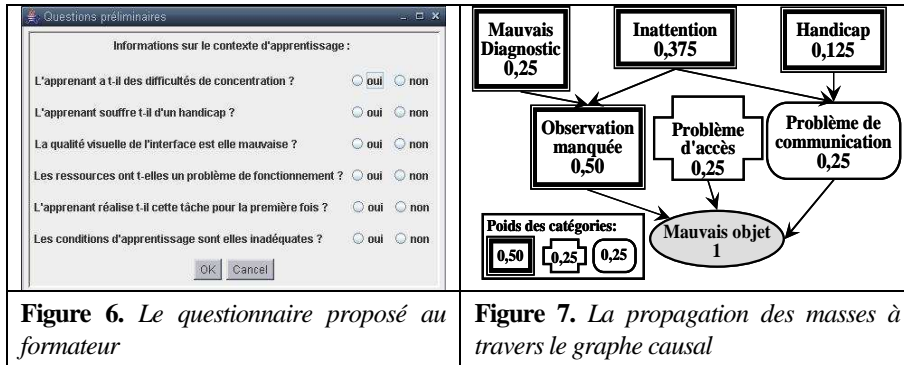


Figure 6. Le questionnaire proposé au formateur

Figure 7. La propagation des masses à travers le graphe causal

Par exemple, si suite aux réponses du formateur nous obtenons les résultats suivants : $P : 0,5$; $T : 0,25$; et $O : 0,25$; alors les génotypes de la catégorie P semblent être les plus plausibles pour expliquer l'action erronée du formé. Dans ce cas, dans l'exemple de la figure 4, il ressort à première vue, que les inférences suivantes ($Inattention \rightarrow Observation manquée$), et ($Mauvais diagnostic \rightarrow Observation manquée \rightarrow Mauvais objet$) semblent être les plus plausibles parce que tous les antécédents impliqués dans ces liens appartiennent à la catégorie P .

Dans ce qui suit, nous allons montrer comment nous propageons le poids des différentes catégories à travers le graphe et comment nous obtenons le résultat « intuitif », cité plus haut, en utilisant la théorie de l'évidence de Dempster-Shafer.

4.4. Calcul des masses dans le graphe causal en utilisant la théorie de l'évidence

L'idée principale de la *théorie de l'évidence* [DEMPSTER 67] [SHAFER 76] est qu'une observation attribue un certain *degré de confiance* à un ensemble d'hypothèses. Soit Ω l'ensemble des hypothèses possibles $\{H_1, H_2, \dots, H_N\}$, appelé *cadre de discernement*. On définit un ensemble 2^Ω qui désigne l'ensemble des 2^N parties A de Ω : $2^\Omega = \{A | A \subseteq \Omega\} = \{\emptyset, \{H_1\}, \dots, \{H_N\}, \{H_1, H_2\}, \dots, \Omega\}$. 2^Ω comprend non seulement les hypothèses singletons de Ω , i.e. chaque hypothèse H_i , mais également l'ensemble de toutes les disjonctions possibles de ces hypothèses. La théorie distribue des *degrés de confiance*, appelés aussi *masses* sur 2^Ω en utilisant la *fonction de croyance* $m_\Omega: 2^\Omega \rightarrow [0,1]$ ayant ces deux propriétés, $m_\Omega(\emptyset) = 0$ et $\sum_{A \subseteq \Omega} m_\Omega(A) = 1$.

Le principal avantage de la théorie de l'évidence, par rapport à l'approche probabiliste (par exemple, les réseaux bayésiens), est la possibilité d'attribuer une *masse* à un ensemble A (différent d'un singleton) sans prendre parti pour un sous-ensemble particulier de A . Autrement dit, l'ensemble des hypothèses de A nous paraît crédible. Ceci permet de modéliser la notion d'*ignorance*, c'est-à-dire le manque de connaissances. Et dans notre cas,

les seules informations dont nous disposons sont : (1) le graphe causal représentant le *schéma de classification* de *CREAM*, (2) l'action erronée du formé (*phénotype*) fourni par le mécanisme de RP, et (3) le poids de chacune des trois catégories *P*, *T* et *O*. Donc, nous ne pouvons pas « transposer » le graphe causal en une représentation probabiliste puisque nous ne pouvons assigner une probabilité à chacun des noeuds. L'information dont nous disposons (le poids des trois catégories *P*, *T* et *O*) nous permet de donner uniquement une *croyance* ou une *masse* aux ensembles *antécédents/conséquences* appartenant à une catégorie spécifique. Dans notre cas, Ω correspond à l'ensemble des noeuds du graphe causal, c'est à dire tous les *antécédents/conséquences* du schéma de classification qui peuvent expliquer l'occurrence de l'action erronée du formé. Les feuilles du graphe représentent les *génotypes* et la somme de leur *masse* vaut 1. Les *génotypes* proposés au formateur sont alors les feuilles du graphe classées par ordre décroissant de leur *masse*.

Pour calculer la *masse* de chaque feuille, nous propageons les *masses* des *conséquences* vers les *antécédents* dans la classification. Chaque *conséquence* « donne » une partie de sa *masse* à chacun de ses *antécédents* selon la catégorie à laquelle il appartient (*P*, *T* ou *O*). La *masse* d'un *antécédent* est la somme des *masses* données par ses parents (ses *conséquences*). La propagation des *masses* dans le graphe prend fin à un moment donné car le graphe est acyclique, un *antécédent* d'un groupe ne peut pas se retrouver comme *conséquence* du même groupe. Pour calculer la *masse* d'un *antécédent* *a*, nous proposons la formule suivante :

$$m(a) = p(C(a)) \times \sum_{\forall b \in \text{Cons}(a)} \left(\frac{m(b)}{\sum_{\forall i \in \{P, T, O\}} (p(i) \times n_{ib})} \right) \quad (2)$$

Où: $m(a)$ est la masse de l'*antécédent* *a*, $p(i)$ est le poids de la catégorie *i*,
 $C(a)$ est la catégorie de *a*, n_{ib} est le nombre d'*antécédents* de *b* appartenant à la
 $\text{Cons}(a)$ est l'ensemble des *conséquences* de *a*, catégorie *i*.

Pour calculer la *masse* de *Inattention* de l'exemple de la figure 4, nous avons besoin des *masses* de *Observation manquée* et *Problème de Communication* puisque *Inattention* est l'*antécédent* de ces deux *conséquences*. De (2), nous obtenons $m(\text{Observation manquée})=0,5$; $m(\text{Problème communication})=0,25$. La *masse* de *Inattention* est alors: $m(\text{Inattention})=0,375$ (fig. 7).

Après calcul, les résultats suivants sont proposés au formateur. Ils correspondent bien aux résultats « intuitifs » cités plus haut (cf. 4.3) :

Génotype, Masse	Lien causal
1 : <i>Inattention</i> , masse =0,375	<i>Inattention</i> → <i>Observation manquée</i> → <i>Mauvais objet</i>
2 : <i>Mauvais diagnostic</i> , masse =0,25	<i>Mauvais diagnostic</i> → <i>Observation manquée</i> → <i>Mauvais objet</i>
2 : <i>Problème d'accès</i> , masse=0,25	<i>Problème d'accès</i> → <i>Mauvais objet</i>
3 : <i>Handicap</i> , masse =0,125	<i>Handicap</i> → <i>problème de communication</i> → <i>Mauvais objet</i>

5. Implémentation de CREAM

Nous avons implémenté *CREAM* en utilisant un système à base de règles pour deux raisons principales. La première est qu'un système à base de règles travaille de manière

opportuniste, une règle n'est déclenchée que si le *phénotype* qui lui est associé est concerné, c'est-à-dire que l'analyse et la propagation des *masses* ne sont pas faites dans tout le *schéma de classification*. Il y a autant de graphes causaux que de *phénotypes* et chaque *phénotype* déclenche le graphe qui lui correspond. La seconde raison est que le *schéma de classification* n'est pas codé « en dur » dans le sens où une modification dans le schéma n'implique pas des modifications majeures dans les règles. Dans la section §4.1, nous avons souligné les modifications et adaptations apportées au schéma pour correspondre à notre contexte. Si, par exemple, nous voulons ajouter des *antécédents* à un *génotype* donné, nous avons seulement besoin de modifier la règle correspondante en ajoutant ces *antécédents* et de modifier le nombre d'*antécédents* de ce *génotype* dans la formule 2 pour calculer sa *masse*. Pour illustrer cela, nous donnons l'exemple de la table ci-dessous qui décrit une partie des *antécédents généraux* et *spécifiques* du *génotype Problème de mémoire* de la catégorie *P*, groupe *fonctions temporaires de la personne*.

Table 1. Quelques antécédents du génotype « Problème de mémoire »

Conséquence générale	Antécédents généraux	Antécédents spécifiques
Problème de mémoire	Demande excessive	Autre priorité

La règle qui permet d'ajouter le *génotype Problème de mémoire* et ses *antécédents* à la base de connaissances est :

```
(defrule ProblemeMemoire
  ?fl<-(genotype (name "Probleme de memoire") (categorie Personne)
  (masse ?m) (nbfilSP ?nP) (nbfilST ?nT) (nbfilSO ?nO) (link $?c))
  =>
  (assert (genotype (name "Demande Excessive") (categorie
Organisation) (masse (calculpoids ?m ?*valO* ?nP ?nT ?nO)) (nbfilSP
  0) (nbfilST 0) (nbfilSO 4) (link Demande excessive --> ?c)))
  (assert (genotype (name "Autre priorite") (categorie Personne)
  (masse (calculpoids ?m ?*valO* ?nP ?nT ?nO)) (nbfilSP 0) (nbfilST
  0) (nbfilSO 0) (link Autre priorite --> ?c)))
  )
```

Où : *masse* est la formule de calcul de la *masse* du *génotype* ; *nbfilSX* est le nombre d'*antécédents (généraux et spécifiques)* du *génotype*, qui appartiennent à la catégorie X (*P*, *T* ou *O*). Dans cet exemple, *Demande excessive* a 4 antécédents appartenant tous à la catégorie *Organisation* : 2 généraux (*allocation inadéquate de la tâche, conditions ambiantes défavorables*) et 2 spécifiques (*tâches inattendues, tâches parallèles*)¹. Quant à *Autre priorité*, qui appartient à la catégorie *Personne*, n'a pas d'*antécédents* puisque c'est un *antécédent spécifique*.

6. Bilan et perspectives

L'objectif principal de ce travail est d'assister le formateur dans sa tâche de suivi des activités du formé, en lui présentant des informations sur (1) les causes qui peuvent expliquer l'occurrence des actions erronées du formé et (2) les liens causaux qui ont permis d'inférer

¹ Ces antécédents, qui correspondent à d'autres tables, sont alors ajoutés à la base de connaissances.

ces causes. Pour cela nous avons proposé d'utiliser une méthode de l'analyse de la fiabilité humaine, la méthode CREAM et nous avons montré qu'il est possible, moyennant des modifications et adaptations à notre contexte, d'automatiser cette méthode qui demeure, à notre connaissance, une méthode manuelle.

Pour initialiser les *masses* des nœuds du graphe causal, nous proposons un questionnaire au formateur avant la session d'apprentissage. Actuellement, ce questionnaire est relativement simple et gagnerait à être amélioré. Des informations plus précises pourraient être recueillies auprès des formateurs, par exemple, recenser les « classes » de problèmes qu'ils ont l'habitude de rencontrer dans leur activité, qui peuvent être liés à l'environnement utilisé, au type de procédures, aux « classes » de formés etc.

Par ailleurs, les causes (et les liens causaux) générés par ce mécanisme sont proposés au formateur suivant leur *masse*. Le formateur peut choisir parmi ces causes celles qui lui semblent plus pertinentes. Par conséquent, le classement du formateur pourrait être différent de celui qui lui est proposé. Afin de tenir compte des choix du formateur et les répercuter pour calculer les nouvelles *masses*, nous allons améliorer le mécanisme proposé pour l'adapter aux pratiques du formateur en introduisant des techniques d'apprentissage automatique, ce que la théorie de l'évidence permet de faire.

7. Bibliographie

- [DEMPSTER 67] Dempster, A. P., Upper and lower probabilities induced by a multivalued mapping. *Annals of Mathematical Statistics*: 325-339, 1967.
- [EL-KECHAI 06] El-Kechai, N., Mécanisme générique de reconnaissance de plans pour détecter les actions erronées de l'apprenant. *Rencontres Jeunes Chercheurs EIAH*, Evry, 43-50. 2006.
- [EL-KECHAI & DESPRES 06] El-Kechai N., Després C., A Plan Recognition Process, Based on a Task Model, for Detecting Learner's Erroneous Actions. *ITS*, Jhongli, Taiwan, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 329-338, 2006.
- [HOLLNAGEL 93] Hollnagel, E., The phenotype of erroneous actions. *International Journal of Man-Machine Studies* 39: 1-321, 1993.
- [HOLLNAGEL 98] Hollnagel, E., *Cognitive Reliability and Error Analysis Method*. Oxford, Elsevier Science, 1998.
- [HOLLNAGEL 00] Hollnagel, E., Looking for errors of omission and commission or the hunting of the Snark revisited. *Reliability Engineering and Systems Safety* 68: 135-145, 2000.
- [SCAPIN & BASTIEN 01] Scapin, D., Bastien, J. M. C., Analyse des tâches et aide ergonomique à la conception: l'approche MAD*. *Analyse et conception de l'IHM*. Kolski. France: 85-116, 2001.
- [SHAFER 76] Shafer, G., *A Mathematical Theory of Evidence*, Princeton University Press, 1976.
- [TRICHET & TCHOUNIKINE 99] Trichet, F., Tchounikine, P., DSTM: a Framework to Operationalize and Refine a Problem-Solving Method modeled in terms of Tasks and Methods. *ESWA* 16:105-120, 1999