HAL
open science

# DIANE (Diagnostic Informatique sur l'Arithmétique au Niveau Elémentaire)

Khider Hakem, Emmanuel Sander, Jean-Marc Labat

## To cite this version:

Khider Hakem, Emmanuel Sander, Jean-Marc Labat. DIANE (Diagnostic Informatique sur l'Arithmétique au Niveau Elémentaire). 2005. hal-00005704

**HAL Id: hal-00005704**

**https://telearn.hal.science/hal-00005704**

Preprint submitted on 29 Jun 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.

# DIANE (Diagnostic Informatique sur l'Arithmétique au Niveau Elémentaire)

**Khider Hakem*, Emmanuel Sander*, Jean-Marc Labat****

** Cognition & Usages*
*2 rue de liberté, 93526 Saint-Denis Cedex*
*khakem2001@yahoo.fr*
*sander@univ-paris8.fr*
*** CRIP5*
*45 rue des Saints Pères, 75270 Paris cedex 06*
*Jean-Marc.Labat@math-info.univ-paris5.fr*

RÉSUMÉ. *Nous présentons une recherche en cours dont l'objectif est de construire un EIAH,* DIANE *(Diagnostic Informatique sur l'Arithmétique au Niveau Elémentaire), dont un premier objectif est de réaliser un diagnostic automatique sur un ensemble de problèmes arithmétiques isomorphes à partir des productions de l'apprenant. Une fois le diagnostic effectué, un module de remédiation, en projet, se chargera de proposer des exercices appropriés aux profils des apprenants établis à partir du diagnostic. Cette recherche s'appuie sur des résultats d'études en psychologie cognitive* [Richard et Sander 00] *qui insistent sur le fait que la résolution de problème est d'abord un travail de recherche de l'interprétation adéquate du problème largement contraint par les aspects sémantiques. Une interface de résolution de problèmes disposant d'un ensemble de fonctionnalités a été développée, permettant notamment d'envisager des passations à grande échelle. Le module de diagnostic, restreint actuellement aux indices non langagiers donne les mêmes résultats que l'analyse manuelle pour 93% des protocoles.*

MOTS-CLÉS : *modélisation de l'apprenant, apprentissages mathématiques, problèmes isomorphes, diagnostic cognitif*

## 1. Introduction

La résolution de problèmes arithmétiques est à la fois source, mobile et révélateur de la conceptualisation arithmétique, étape incontournable et fondamentale de multiples apprentissages scolaires. DIANE s'inscrit dans le projet « conceptualisation et propriétés sémantiques des situations dans la résolution de problèmes arithmétiques » [Sander et al. 03] qui est organisé autour de l'idée que les approches en termes de typologies de problèmes, de schémas ou de modèles de situation, dont la pertinence est par ailleurs indiscutable, ne rendent pas compte de certains déterminants majeurs de la difficulté d'un problème. Des dimensions sémantiques transversales, tenant à la nature des variables, indépendantes d'un schéma de problème particulier, interviennent dans l'interprétation du problème et influencent les apprentissages et les transferts entre problèmes. Leur mise en évidence repose sur l'étude de la résolution de problèmes isomorphes ainsi que sur une analyse fine des erreurs considérées comme les traces observables de représentations sous-jacentes. DIANE vise un double apport : (i) une interface de résolution de problème, paramétrable par le chercheur ou l'enseignant selon ses objectifs de recherche ou ses objectifs pédagogiques, et de diagnostic permettant une analyse fine des stratégies pertinentes et des erreurs. (ii) La construction de remédiations fondées sur les résultats du diagnostic. Seule la première partie est suffisamment avancée pour être discutée dans cet article.

Une grille d'analyse, présentée plus loin, a été établie afin de permettre une analyse à différents niveaux de précision, y compris un niveau fin permettant d'identifier les stratégies mises en œuvre, les erreurs de calcul, les résolutions partielles, les interprétations erronées. La première phase de notre travail est la modélisation de l'activité de l'apprenant, qui passe par l'automatisation de la grille d'analyse et a comme objectif de fournir un diagnostic sur la résolution des problèmes par l'apprenant. Nous travaillons avec des problèmes additifs à énoncés verbaux, plus précisément des problèmes à étape de complément et de comparaison. Nous présentons maintenant les travaux sur lesquels nous nous sommes appuyés pour construire ces problèmes.

## 2. Caractéristiques des problèmes étudiés et des critères de différentiation

### *2.1. Les problèmes arithmétiques à énoncé verbaux*

#### *2.1.1. Problèmes à énoncés verbaux*

Cummins, Kintsch, Reusser et Weimer [Cummins et al. 88] ont constaté qu'un problème présenté sous format numérique (x + y = z) est plus facile à résoudre qu'un problème arithmétique à énoncé verbal, c'est-à-dire transformé en format verbal et habillé sémantiquement (Jean possède x cartes, Pierre en possède y. Ils en ont z en tout).

*2.1.2. Problèmes isomorphes*

Deux problèmes sont isomorphes s'ils partagent la même structure, c'est-à-àdire s'il existe une description de ces problèmes dans laquelle le but est identique et atteignable par les mêmes procédures. L'usage de problèmes isomorphes permet de dissocier les aspects structuraux et sémantiques dans la résolution d'un problème.

*2.1.3. Problèmes additifs*

On appelle problèmes additifs des problèmes à énoncé dont la solution n'implique que des additions ou des soustractions [Escarabajal 84]. La difficulté des problèmes additifs ne dépend pas seulement de l'opération à résoudre, mais des situations décrites dans le problème. Riley, Greeno et Heller [Riley et al. 83] ont proposé une classification qui distingue trois catégories de problème :

a) Les problèmes de changement ou de transformation, de nature dynamique, qui impliquent tous au moins une transformation temporelle de type ajout ou perte appliquée à un état initial et aboutissant (ou ayant abouti) à un état final,

b) les problèmes de combinaison, de nature statique, qui conduisent à une résolution typique d'inclusion à une classe ou de deux sous-classes,

c) les problèmes de comparaison, où la résolution fait intervenir des ensembles statiques dont les cardinaux sont comparés : cette comparaison est constituée des deux termes propres à cette situation et de leur différence.

Du fait de l'existence de relations entre ces classes de problèmes, Nesher [Nesher 81] a suggéré d'assimiler le schéma de la transformation à celui de la combinaison pour redéfinir ces ensembles en termes de parties ou de tout. [Richard et Sander 00] ont rendu compte de relations de généralité/spécificité entre ces schémas afin d'exprimer un autre degré de conceptualisation des situations additives. Plus précisément, ils ont proposé le schéma suivant (Figure 1) qui fait apparaître la situation de comparaison comme la plus générale, la situation de combinaison comme d'un niveau d'abstraction intermédiaire et la situation de transformation comme la plus spécifique.

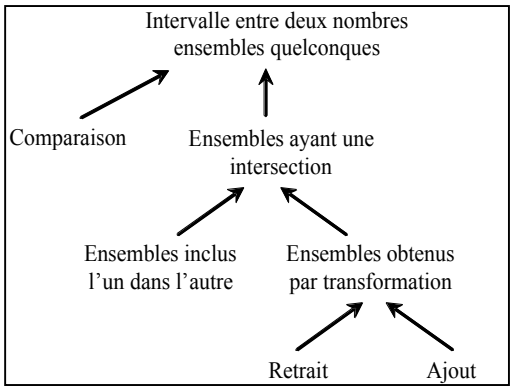


**Figure 1.** *Schémas des relations entre les problèmes additifs*

*2.1.4. Problèmes à étapes*

Les problèmes à étapes supposent de faire des inférences dont la production n'est pas amorcée par la question finale et donc de créer une ou plusieurs variables intermédiaires dont l'instanciation permet une simplification du problème [Porcheron 98].

### *2.2. Etude des déterminants majeurs de la difficulté d'un problème*

Les énoncés que nous avons construits reposent sur la manipulation de quatre facteurs dont nous avons fait l'hypothèse qu'ils influencent la résolution.

*2.2.1.* Un premier facteur est le caractère explicite ou implicite de l'étape selon qu'une question intermédiaire est posée ou non. Lorsque la question intermédiaire n'est pas explicitée, la réussite est liée à la capacité de créer une variable à un niveau générique [Porcheron 98]. Nous faisons l'hypothèse que l'explicitation de la question intermédiaire a une double influence : elle est susceptible de faciliter la résolution des problèmes du fait que la construction de la variable intermédiaire est explicitement amorcée ; elle est également susceptible d'inhiber des stratégies de résolution alternatives. En effet, nous avons travaillé avec des énoncés de problèmes pour lesquels plusieurs procédures peuvent amener à la solution correcte (voir ci-après).

*2.2.2.* Un second facteur, de nature sémantique, concerne la nature de la variable utilisée dans l'énoncé. Nous faisons l'hypothèse que les variables impliquées ont une influence différente sur la difficulté des problèmes et les stratégies de résolution selon que la dimension la plus saillante est cardinale ou ordinale. Ainsi, certaines variables, par exemple les effectifs ou les prix, favorisent une représentation dite cardinale, dans laquelle les valeurs sont considérées comme inclusives les unes des autres et pour lesquelles il est naturel de les additionner ; alors que d'autres, par exemple les âges ou les heures, favorisent une représentation dite ordinale pour laquelle les valeurs sont considérées comme exclusives les unes des autres et pour lesquelles il est naturel de les comparer. Ainsi, à la question « si j'ai 10 Euros, est-ce que j'ai 5 Euros ?», on est tenté de prendre un point de vue inclusif et de répondre oui, alors qu'à la question « si j'ai 10 ans, est-ce que j'ai 5 ans?» on est tenté de prendre un point de vue exclusif et de répondre non [Richard et Sander 00].

*2.2.3.* Ces deux premiers facteurs ont été croisés avec 2 facteurs modifiant la nature du problème conduisant à l'étude d'une famille de types de problèmes plutôt qu'un ensemble de problèmes strictement isomorphes et conduisant, par le croisement de ces deux facteurs à deux modalités, à quatre familles de problèmes. Le premier de ces facteurs est le fait que le problème implique ou non un calcul de comparaison : certains problèmes, que nous dénommons problèmes de complément, peuvent se résoudre par une double complémentation, alors que d'autres, dits de comparaison, font intervenir la comparaison de deux ensembles. Nous avons fait l'hypothèse d'une interaction entre la nature de la variable et le type de problème, les variables cardinales supposées favoriser la résolution de problèmes de complément alors que les variables ordinales devraient favoriser la résolution des problèmes de comparaison. Un dernier facteur concerne la nature de la question selon qu'elle porte sur le calcul d'un tout ou d'une partie qui permet d'explorer l'ensemble de ce micro domaine. Plus précisément, les problèmes construits ont la structure suivante :

#### *2.2.4. Les problèmes à étapes de complément et de comparaison*

Les énoncés débutent par la donnée de la valeur d'une partie (Partie1) et d'un Tout (Tout1). Selon la condition (amorçage ou absence d'amorçage), une question

intermédiaire portant sur la partie non explicitée est posée. Ensuite, un nouvel ensemble est construit partageant la Partie2 avec le premier ensemble : dans la condition où la question finale porte sur le tout (Tout2), une information est donnée sur la partie non commune (Partie3), cette information étant soit explicite (problème de complément) soit définie par comparaison avec la Partie1 (problème de comparaison). Dans la condition où la question finale porte sur la partie (Partie3), une information est donnée sur le tout (Tout2), cette information étant soit explicite (problème de complément) soit définie par comparaison avec le Tout1 (problème de comparaison).

### *2.3. Stratégies de résolution*

Deux stratégies permettent de résoudre ces problèmes avec succès : la stratégie par étape et la stratégie par différence. La stratégie par étape consiste à calculer la Partie2 préalablement pour déterminer ensuite la Partie3 ou le Tout2. Par exemple, dans le problème de comparaison du Tableau 1, la résolution par étape consiste à calculer d'abord la Partie2 (17 – 8 = 9), puis à calculer la Partie3 (8 – 2 = 6), ensuite, on calcule le Tout2 par une nouvelle complémentation faisant intervenir la Partie2 et la Partie3 (9 + 6 = 15). La stratégie par différence ne nécessite pas le calcul de la Partie2 mais traduit le fait que si deux ensembles ont une partie commune, les parties complémentaires diffèrent comme les deux touts. La résolution par différence du même problème se traduit par un seul calcul (17 – 2 = 15).

| Problème de comparaison, variable âges, question porte sur un tout | Réponse 1<br>Stratégie par étape | Réponse 2<br>Stratégie par différence |
|---|---|---|
| *Antoine a suivi les cours de peinture à l'école d'art pendant 8 ans* (Partie 1) *et s'est arrêté à 17 ans* (Tout 1). *Jean a commencé au même âge qu'Antoine et a suivi les cours 2 ans de moins* (Partie 3 est construite par comparaison avec la partie 1). *A quel âge Jean s'est-il arrêté ?* | 17 – 8 = 9<br>8 – 2 = 6<br>9 + 6 = 15<br>Jean a arrêté à 15 ans | 17 – 2 = 15<br>Jean a arrêté à 15 ans |

**Tableau 1.** *Exemple de réponses à un problème de comparaison*

En outre, une variété d'erreur est susceptible d'être observée. Au delà du constat d'échec ou de réussite au problème nous avons l'objectif d'identifier la nature des erreurs. Par exemple si l'enfant fait une erreur lors du calcul de la Partie2 (17 – 8 = 10), cela va se répercuter aussi sur le calcul final (10 + 6 = 16) et dans ce cas, l'analyse indiquera qu'une donnée est incorrecte dans le calcul final dû à une petite erreur de calcul lors du calcul d'étape. Il en est de même pour les stratégies erronées ; ainsi un enfant qui, après un calcul d'étape correct, terminerait par 9–2 =7 devrait être identifié comme faisant une opération impliquant le résultat du calcul intermédiaire et la dernière donnée de l'énoncé.

## 3. Résultats sur les problèmes de complément et de comparaison

Une expérimentation sur un large échantillon a été réalisée [Sander et al. 03], à laquelle 818 élèves (352 CM1, 467 CM2) de 15 écoles (29 classes) de Paris et région parisienne ont participé. Le plan expérimental était le suivant : S<N2*A2>*T2*V3*Q2 (N = Niveau CM1 ou CM2, A = Amorçage Présence ou Absence, T=Type Complément ou Comparaison, V=Variable Effectif, Prix ou Age, Q = Question Partie ou Tout). Chaque enfant résolvait, en deux sessions, dans une seule condition d'amorçage, des problèmes à étape de complément et de comparaison pour les 3 types de variables et les deux question, soit 12 problèmes. Sans entrer dans le détail des résultats, on peut noter que les principales hypothèses ont été confirmées, notamment pour ce qui est de celles sur les effets d'interaction : ainsi, la résolution est facilitée par les variables dont le caractère le plus saillant est l'aspect cardinal (Effectif, Prix) plutôt que par les variables dont le caractère le plus saillant est l'aspect ordinal (Age) pour les problèmes de complément alors que l'inverse est vrai pour les problèmes de comparaison. Des résultats similaires ont été observés pour ce qui concerne les stratégies et une expérimentation sur d'autres variables, telles que la hauteur, la masse et la durée [Gamo 04], a montré le caractère général des résultats obtenus. La grille d'analyse, présentée plus loin, qui sert de base à l'algorithme de diagnostic de DIANE a été éprouvée par le codage manuel des protocoles qui se déroule avec un accord quasi-parfait entre juges et a permis de mettre en évidence une grande variété de modes de résolution, avec notamment l'identification d'une vingtaine de stratégies erronées permettant de rendre compte d'environ 80% des erreurs et dépendantes des facteurs manipulés [Décaudain 04]. La pertinence du codage, par ailleurs fastidieux et nécessitant une formation assez poussée des codeurs, nous ayant semblé avéré, nous avons pu passer à la phase d'automatisation.

## 4. Etat de l'état de l'art

Plusieurs travaux sont déjà réalisés jusqu'à présent portant sur la résolution de problèmes d'algèbre et d'arithmétique. Parmi eux, Aplusix [Nicaud 03], un logiciel d'aide à l'apprentissage de l'algèbre à destination principalement des collèges et lycées ; il constitue un environnement de résolution d'exercices de calcul numérique et d'algèbre formelle (développements, factorisations, résolution d'équations, d'inéquations, ou de systèmes d'équations). AMBRE-add [Duclosson 04], destiné à l'apprentissage d'une méthode de résolution de problème additifs, permet à l'apprenant de construire par lui-même des classes de problèmes, à partir des problèmes déjà rencontrés au cours de l'apprentissage. Pépite [Jean 00] qui a pour objectif de modéliser les connaissances des élèves en algèbre élémentaire en construisant leur profil cognitif, est destiné à des élèves de niveau secondaire. DIANE, le système de diagnostic automatique pour les problèmes arithmétiques au niveau élémentaire présenté ici, permet de faire une analyse très fine sur les productions des apprenants et de rendre compte de leurs erreurs, conduisant à la construction de profil d'élèves dans une perspective de remédiation.

## 5. Description de DIANE

DIANE est une application web basée sur les technologies open source. DIANE est composée d'une interface d'administration pour l'enseignant et d'une interface de résolution de problèmes pour l'apprenant. L'interface d'administration permet à l'enseignant de choisir ou d'ajouter des énoncés qu'il veut poser à l'apprenant et de créer des séries d'exercices. Le choix des énoncés est conditionné par le type de problèmes (complément ou comparaison), la nature de la variable, la nature de la question finale (partie ou tout) et la présence ou non d'une question intermédiaire. L'enseignant a la possibilité aussi de télécharger le diagnostic et de consulter les productions des apprenants réalisé à travers l'interface de résolution.

Le rôle de l'interface de résolution est la passation des énoncés choisis par l'enseignant et l'analyse de chaque production selon la grille d'analyse. Cette interface (Figure 2) dispose de fonctionnalités qui permettent d'alléger la charge de travail pour le calcul et l'écriture de façon à se centrer plus sur la résolution du problème. L'élève peut résoudre un problème en utilisant uniquement la souris sans avoir recours au clavier. Les réponses de l'élève sont composées d'expressions algébriques et de langage naturel. On a constaté que tous les mots nécessaires à la formulation de la réponse se trouvaient dans l'énoncé du problème, au lieu de mettre à disposition de l'élève une liste de mots prédéfini pour formuler sa réponse nous avons choisi de mettre à sa disposition tous les mots de l'énoncé, qui ont été rendus cliquables. Ainsi, en utilisant les mots de l'énoncé pour formuler la solution, l'enfant utilisera un lexique assez restreint qui limitera les erreurs de frappe et d'orthographe, ce qui nous permettra d'analyser par la suite un langage naturel contraint. Il a néanmoins la possibilité d'écrire au clavier les mots de son choix.

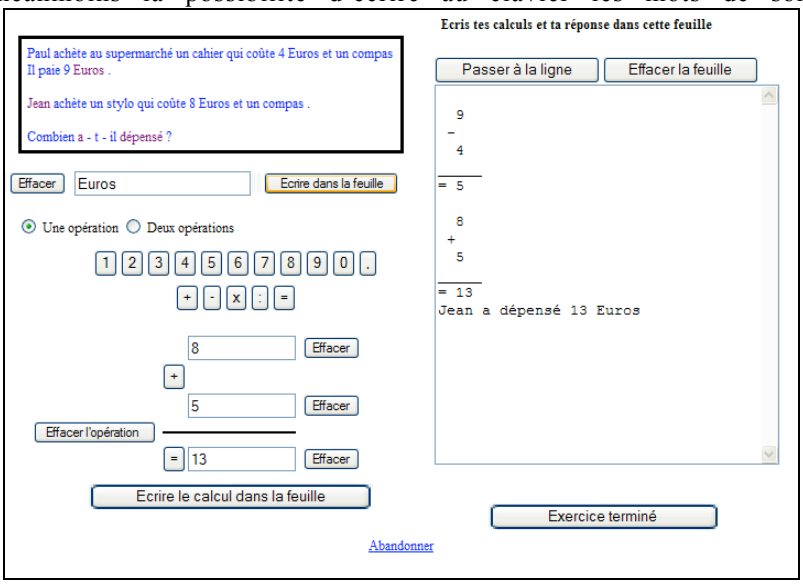


**Figure 2.** *Exemple d'exercice résolu avec l'interface élève*

L'analyse des réponses de l'élève s'effectue lorsqu'il clique sur « Exercice terminé » (Figure 1), cette action permet aussi de passer à l'exercice suivant.

## 6. Le diagnostic dans DIANE

Le diagnostic dans DIANE est considéré comme un outil d'analyse et de compréhension des comportements des apprenants dans la résolution de problèmes additifs, en l'occurrence des problèmes de complément et de comparaison. Le diagnostic est générique ; il n'est pas sensible à l'habillage sémantique des exercices tant que la structure des problèmes est respectée. Le diagnostic ne code pas uniquement les problèmes résolus avec succès, mais il permet aussi de coder avec autant de finesse les problèmes erronés. Ainsi, plus de la moitié des modalités de la grille d'analyse sont consacrées au codage des erreurs.

Le diagnostic est porté dans un tableau de 18 colonnes ; Selon la stratégie de résolution et le type de problèmes utilisés 14 colonnes sont codées au maximum. La première colonne code la stratégie (Etape, Différence…). La suite est composée de groupes de 4 colonnes. La première caractérise le type de calcul (addition, soustraction…), la seconde indique si les données de l'opération son pertinentes, la troisième indique si le calcul de l'opération est correct et la quatrième indique la présence et le cas échéant la nature de la formulation du résultat.

La réponse de l'élève qui est sous forme de chaîne de caractère, subit un traitement basé sur des expressions régulières. Ce traitement transforme la réponse de l'élève sous forme de quatre tableaux (Figure 3) qui nous servent dans l'analyse. Le premier tableau contient tous les nombres saisis, le second contient les opérations effectuées, le troisième contient tous les nombres qui ne sont pas des opérandes et le quatrième contient tous les mots séparés par des blancs.

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 17 | 8 | 9 | 8 | 2 | 6 | 9 | 15 | 15 |

| | | |
|---|---|---|
| 17 – 8 = 9 | 8 – 2 = 6 | 9 + 6 = 15 |

| |
|---|
| 15 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Jean | a | arrêté | à | ans |

**Figure 3.** *Exemple de traitement (Tableau 1, Réponse 1)*

Les données qui sont extraites et calculés (Tout1, Partie1, Partie2…) à partir de l'énoncé ainsi que les énoncés sont stockés dans une base de données. Le diagnostic automatique est réalisé en comparant les données de l'énoncé avec la réponse de l'élève représentée sous forme de tableaux, en utilisant des heuristiques dérivées de la grille d'analyse et des erreurs enregistré dans les productions papiers. L'analyse automatique des réponses de l'apprenant aux problèmes de complément est réalisé selon l'algorithme suivant :

Algorithme :
Début
  Vérification du nombre d'opération dans le tableau d'opération
  Si le tableau d'opération est vide et le tableau des nombres n'est pas vide alors
    Calcul implicite
  Si plusieurs opération alors
  Boucle

1) Chercher s'il y a un calcul par différence /*codage des colonnes 10 à 13*/
Vérifier le signe de l'opération (soustraction, addition à trou …)
Vérifier l'exactitude du résultat du calcul relativement à l'opération et aux données utilisées
Si (la question finale porte sur un tout) et
(les opérandes utilisés sont Partie1 et Partie3) où
(la question finale porte sur une partie) et
(les opérandes utilisés sont Partie1 et Partie3)
alors calcul de différence
2) Chercher s'il y a un calcul d'étape /*codage des colonnes 2 à 4*/
Vérifier le signe de l'opération (soustraction, addition à trou …)
Vérifier l'exactitude du résultat du calcul relativement à l'opération et aux données utilisées
Si les opérandes utilisés sont Tout 1 et Partie 1 alors calcul d'étape
Fin de la boucle
/*colonne 14 à 17*/
Traitement de la dernière opération
Si (la question finale porte sur une tout) et
(les opérandes utilisés sont le résultat de l'étape et de la Partie 3) et
(l'opération utilisée est une addition)
alors
Calcule un tout (même si le résultat étape est faux) /*codage la colonne 14*/
/* on vérifie à chaque fois les données de l'énoncé et les résultats selon la question final (tout ou partie) avec les opérandes de l'opération en cours de traitement */
/* codage des colonnes 15 à 17*/
Vérifier le signe de l'opération selon les modalités de la colonne15
Vérifier les opérandes utilisés selon les modalités de la colonne16
Vérifier l'exactitude du résultat selon les modalités de la colonne 17
Fin

Sans être exhaustif, cet algorithme est un aperçu de la manière dont nous réalisons le codage automatique.

Le tableau suivant est une illustration du diagnostic, portant sur l'analyse de la réponse 1 de l'exemple du Tableau 1.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Détermine la stratégie de résolution<br>Colonne 1 → 1 Étape, 2 Différence, 3 Mixte (1 et 2), + 4 autres modalités<br>***colonne 1 = 1 (stratégie à étape).*** | | Nature de ce qui est calculé<br>Colonne 14 → 0 Implicite, 1 Partie, 2 Tout, 3 Comparaison, + 3 autres modalités<br>***colonne 14 = 2 (9 + 6) ⇔ (partie + partie)*** | |
| Calcul du résultat intermédiaire<br>Colonne 2 → 0 Implicite, 1 Addition à trou, 2 Soustraction, 3 Soustraction inverse, + 5 autres modalités<br>***Colonne 2 = 2 (17 – 8 = 9, Soustraction)*** | Résultat Intermédiaire (Calcul d'étape) | Opération utilisée<br>Colonne 15 → 0 Implicite, 1 Addition à, 2 Soustraction, 3 Soustraction inverse, + 6 autres modalités<br>***Colonne 15 = 4 (9+6 = 15, Addition)*** | Calcul de la réponse à la question finale |
| Pertinence des données<br>Colonne 3 → 0 Correcte, 1 Incorrecte, 9 Absence<br>***Colonne 3 = 0 (Tout1 = 17, Partie1 = 8)*** | | Pertinence des données<br>Colonne 16 → 0 Correcte, 1 Incorrecte, 2 Erreur de compte, 3 Erreur de procédure, 4 Données Comparaison, 9 Absence<br>***Colonne 16 = 0 (Partie 2, Partie3)*** | |
| Exactitude du résultat<br>Colonne 4 → 0 Correcte, 1 Erreur Compte, 2 Erreur de procédure, 9 Absence<br>***Colonne 4 = 0 (résultat correct = 9)*** | | Exactitude du résultat<br>Colonne 17 → Idem à colonne 3<br>***Colonne 17 = 0 (résultat correct = 15)*** | |
| Calcul de comparaison<br>Colonne 6 → 0 Implicite, 1 Addition à trou, 2 Soustraction, 3 Soustraction inverse, + 4 autres modalités<br>***Colonne 6 = 2 (8 – 2 = 6, Soustraction)*** | calcul du terme de la comparaison valable uniquement pour les problèmes de comparaison | Les colonnes 10 à 13 concernent le calcul de la différence, elles sont valables uniquement pour les problèmes de complément dans le cas d'une résolution par différence | |
| Pertinence des données de l'opération<br>Colonne 7 → Idem à colonne 3<br>***Colonne 7 = 0*** | | | |
| Exactitude du résultat<br>Colonne 8 → Idem à colonne 4<br>***Colonne 8 = 0*** | | | |

**Tableau 2.** La grille d'analyse de DIANE, Exemple d'analyse (Tableau1, réponse 1)

Toutes les modalités du diagnostic ne figurent pas dans le tableau précédent, qui illustre la précision de l'analyse effectuée sur les productions des apprenants.

## 7. Expérimentation

Afin d'évaluer la qualité du diagnostic automatique, deux expériences ont été effectuées sur des problèmes isomorphes de complément et de comparaison. Dans la première, nous avons repris les protocoles papiers d'une classe et les avons saisis sur l'interface. Les sujets étaient des élèves de CM1 (29 élèves), extraits d'une expérimentation de [Sander et al. 03]. Chaque protocole papier contenait 12 problèmes isomorphes, nous avons donc analysé 308 productions. Dans la

deuxième, le test était réalisé directement sur l'interface auprès d'élèves de CM1 et CM2 (46 élèves), les élèves avaient à résoudre chacun une série de 6 problèmes isomorphes de même nature pour que l'expérience précédente [Calestroupat 04] et nous avons analysé là 276 productions. Dans cette expérience, on n'a pas constaté de difficulté majeure associée à l'utilisation de l'interface par les enfants, qui a été très bien acceptée dans l'ensemble, ni de différences importantes dans la production des apprenants entre les deux situations. Ce dernier point demandera toutefois à être approfondi.

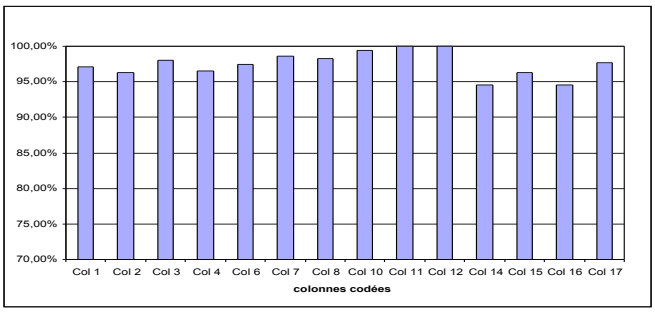


**Figure 4.** *Pourcentage de réussite par colonne du codage automatique par rapport au codage manuel*

Le résultat des deux expériences montre que 93% du codage automatique est identique au codage manuel. La figure 2 illustre que pour chacune des colonnes, et pour chacune des deux expériences, le taux d'égalité entre le codage manuel et le codage automatique varie entre 94.5% et 100%., sachant que les colonnes de formulation ne sont pas encore codées de manière automatique.

## 8. Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté DIANE, un EIAH qui traite la résolution de problèmes isomorphes de complément et de comparaison, la particularité de DIANE réside dans son module de diagnostic qui permet d'analyser les productions des apprenants de manière très précises, qu'elles soient justes ou erronées. La prochaine étape de notre travail va être donc le codage des colonnes de formulation, pour lequel nous procéderons dans un premier temps par la reconnaissance de mots clés. Une fois le diagnostic automatique réalisé nous poursuivrons par la création des profils cognitifs. Les profils manuels sont en cours de développement, nous avons construit pour l'instant [Décaudain 04] une typologie manuelle qui inclut toute les stratégies de réussites et également presque 80% des stratégies incorrectes, cela nous permet de débuter la construction automatique des profils exercice par exercice, en attendant la définition de profils d'élèves. Ensuite nous nous centrerons sur la création d'un module de remédiation, qui proposera des exercices plus adaptés aux profils des apprenants et à propos duquel une étude expérimentale est en cours.

## 9. Bibliographie

[CALESTROUPAT 04] Calestroupat, J., Catégorisation d'interprétations conduisant à des erreurs dans la résolution de problèmes arithmétiques, Mémoire de DEA, Université de Paris 8, 2004.

[CUMMINS et al. 88] Cummins, D.D., Kintsch, W., Reusser, K. & Weimer, R. «The role of understanding in solving words problems ». *Cognitive Psychology*, vol. 20, p. 405-438.

[DECAUDAIN 04] Typologie des stratégies erronées pour les problèmes de complément et de comparaison. Journées « Conceptualisation et propriétés sémantiques des situations dans la résolution de problèmes arithmétiques ». 13-14 Septembre 2004. Université Paris 8

[DUCLOSSON 04] Duclosson, N. «Représentation des connaissances dans l'EIAH AMBRE-add», Technologies de l'Information et de la Connaissance dans l'Enseignement supérieur et l'industrie, TICE'2004, Compiègne, 20-22 octobre 2004, p. 164-171.

[ESCARABAJAL 84] Escarabajal, M. C., «Compréhension et résolution de problèmes additifs », *Psychologie Française*, Paris, 1984, 29, n°3-4, 277-252

[GAMO 04] Gamo, S. Aspects sémantiques et rôle de l'amorçage dans la résolution de Problèmes additifs à étapes. Mémoire de DEA. Université de Paris 8

[JEAN 00] Jean, S, *PÉPITE : un système d'assistance au diagnostic de compétences*, Thèse de doctorat, Université du Maine, 2000.

[NESHER 81] Nesher, P., Levels of description in the analysis of addition and subtraction. In T. P. Carpenter, J. M. Moser and T. A. Romberg (Eds.), *Addition and subtraction: Developmental perspective*. Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum.

[NICAUD 03] Nicaud, J. F., « Modélisation de l'élève en algèbre dans un contexte technologique » Dans Communication "Technologies pour l'Apprentissage et l'Education : Entre Recherche et Usages Pédagogiques". Paris, 25-26 novembre 2003, p. 23-24.

[PORCHERON 98] Porcheron, J. L., Production d'inférences dans la résolution de problèmes additifs. Thèse de Doctorat. Université de Paris 8

[RICHARD et SANDER 00] Richard, J.-F., Sander, E., Activités d'interprétation et de recherche de solutions dans la résolution de problèmes. In J. –N. Foulin & C. Ponce (Eds.), *Lire, écrire, compter, apprendre : les apports de la psychologie des apprentissages,* Editions du CRDP de Bordeaux, p. 91-102.

[RILLEY et al. 83] Rilley M. S., Greeno J. G. & Heller J. I., Development of children's problem solving ability in arithmetic. In H. P. Ginsberg (Ed.), *The development of mathematical thinking*. New-York : Academic Press.

[SANDER et al. 03] Sander, E., Levrat, B., Brissiaud, R., Porcheron, P., Richard, R. Conceptualisation et propriétés sémantiques des situations dans la résolution de problèmes arithmétiques : rapport d'étape. Ministère de la Recherche ; appel d'offre 2002 Ecole et Sciences Cognitives : les apprentissages et leurs dysfonctionnements.