



# LES STRATEGIES METACOGNITIVES UN APPUI A LA RESOLUTION DE PROBLEMES

## METACOGNITIVE STRATEGIES SUPPORT FOR PROBLEM SOLVING

| Said Abouhanifa \*<sup>1</sup> |

\*<sup>1</sup>. Centre Régional des Métiers de l'Éducation et de la Formation, Casablanca- Settat | Annexe de Settat | Département de Mathématique | Settat | Maroc |

| Received | 23 June 2018 |

| Accepted | 10 June 2018 |

| Published 23 July 2018 |

### RESUME

**Introduction :** La carence d'efficacité des élèves devant un problème nouveau, même que ces élèves ont les connaissances nécessaires à la résolution du problème, est un signe de déception et d'obstruction pour un véritable apprentissage. **Contexte :** les élèves du secondaire qualifiant (lycée), à l'âge de 15 à 16 ans, se distinguent par rapport à leur comportement stratégique face à l'apprentissage, ils utilisent généralement moins de stratégies ou les utilisent de manière inefficace. **Objectifs :** À travers l'idée selon laquelle la métacognition à un impact distinctif sur la performance des élèves, cet article vise l'étude de l'influence des stratégies métacognitives manifestées sur les performances en résolution de problèmes, d'élèves marocains à l'âge de de 15 à 16 ans, inscrits en tronc communs scientifique du baccalauréat international. **Méthodes :** nous avons construit des outils afin de dévoiler l'influence des dimensions métacognitives sur la réussite des élèves du secondaire et les administrés auprès d'un échantillon de 33 élèves. **Résultats :** Nous avons mesuré, d'une part, les niveaux de métaconnaissances et de stratégies de régulation cognitive déclarées par les élèves et, d'autre part, leurs performances en situation de résolution de problèmes. **Conclusions :** Suivant une concordance explicite entre les critères de performances respectées et les composantes de métacognitions, nous avons pu parvenir à exhiber comment les métaconnaissances et les stratégies de régulation pourraient intervenir dans la résolution de deux problèmes et que leurs absences pourraient emporter des obstacles de résolution.

**Mots-clés :** *Métacognition, métaconnaissance, autorégulation, résolution de problèmes, performance.*

### ABSTRACT

**Introduction:** The lack of effectiveness of students in a new problem, even if these students have the knowledge to solve the problem, is a sign of disappointment and obstruction for real learning. **Context:** High school students at the age of 15 to 16 stand out from their strategic behavior when it comes to learning, they generally use fewer strategies or use them inefficiently. **Objectives:** Through the idea that metacognition has a distinctive impact on student performance, this article aims to study the influence of metacognitive strategies manifested on problem-solving performances, from Moroccan students to students. age of 15 to 16 years, enrolled in common scientific baccalaureate international baccalaureate. **Methods:** We constructed tools to uncover the influence of metacognitive dimensions on the success of high school students and those administered to a sample of 33 students. **Results:** We measured, on the one hand, the levels of metacognition and cognitive regulation strategies declared by students and, on the other hand, their performance in problem solving situations. **Conclusions:** Following an explicit agreement between the respected performance criteria and the metacognition components, we managed to show how metaconnections and regulatory strategies could intervene in the resolution of two problems and that their absence could lead to resolution obstacles.

**Keywords:** *Metacognition, metaknowledge, self-regulation, problem solving, performance.*

## 1. INTRODUCTION

Le manque d'efficacité des élèves devant un problème nouveau, même que ces élèves ont les connaissances nécessaires à la résolution du problème, est un signe de déception et d'obstruction pour un véritable apprentissage. Ce qui a conduit des chercheurs, Legrand (1991), Robert (1993), Dorier (1992), Rogalski (1991) et Artigue (1993) [1,2,3,4,5], à travailler sur d'autres objets que les connaissances mathématiques : ils proposent d'adjoindre dans l'enseignement des éléments de connaissances ou de réflexion sur les mathématiques des domaines retenus. Il se peut être des méthodes, des moyens systématiques de contrôle ou de choix de stratégies, ou des activités portant sur la nature même des concepts à apprendre : on les concorde aux connaissances métacognitives.

Dans notre contexte, les élèves du secondaire qualifiant (lycée), à l'âge de 15 à 16 ans, se distinguent par rapport à leur comportement stratégique face à l'apprentissage, ils utilisent généralement moins de stratégies ou les utilisent de manière inefficace. Cette constatation a été étudiée par Pressley et Levin (1987) [6]. Les élèves appliquent parfois des stratégies qui leur demandent trop d'efforts cognitifs ou qui ne leur permettent pas de résoudre facilement le problème.

La possibilité d'utiliser des stratégies efficaces par les élèves demande un certain niveau de connaissances métacognitives [7] : l'élève doit non seulement connaître des stratégies, mais il nécessite d'éprouver les situations dans lesquelles elles peuvent être utiles et la façon dont elles doivent être appliquées dans des tâches variées.

En interrogeant plus particulièrement ce que contrôle effectivement ces élèves ; surtout les aspects métacognitifs de leurs démarches et à partir de l'idée selon laquelle la résolution de problème implique des processus de réflexion, de compréhension et de contrôle du fonctionnement cognitif de l'élève, nous souhaitons dans ce travail, préciser l'importance de la métacognition et son impact sur la réussite des élèves en situation de résolution de problème. Ce qui nous a amené à déterminer les niveaux de métacognition exercés par ces élèves relativement aux deux problèmes non routiniers, et d'estimer leurs performances.

## 2. Métacognition et conceptualisation

La psychologie cognitive a dévoilé une exploration dans la structure de la notion de métacognition en faisant référence à la pensée sur soi-même. Noël (1991) a proposé un éclaircissement qui prend en compte les différentes formes développées dans les travaux de ceux de Flavell (1979), Brown (1987), Pinard (1992) et Garner (1987) [8,9,10,11,12]. Elle procure ainsi d'éclairer la métacognition comme :

« Un processus mental dont l'objet est soit une activité cognitive, soit un ensemble d'activités cognitives que le sujet vient d'effectuer ou est en train d'effectuer, soit un produit mental de ces activités cognitives. La métacognition peut aboutir à un jugement (habituellement non exprimé) sur la qualité des activités mentales en question ou de leur produit éventuellement à une décision de modifier l'activité cognitive, son produit ou même la situation qui l'a suscité ». (p. 17)

Cette différenciation entre les connaissances et le processus de mise en œuvre a été étudiée par de nombreux chercheurs traitant le concept de la métacognition.

Dans la littérature, Flavell (1976, 1979, 1981), la métacognition est de deux ordres : l'un est axé sur les métaconnaissances, lorsqu'il s'agit des connaissances que le sujet possède de ses propres processus de pensée, ou de ceux d'autrui [8-9]. L'autre est axé sur les habiletés cognitives, ou les outils cognitifs permettant de guider, de planifier et de réguler l'action, Brown (1987) [10].

La métacognition engage la pensée du sujet à réfléchir sur elle-même. Par ailleurs, cette pensée réfléchie est capable de produire des connaissances sur ses propres connaissances ; ce qu'expriment les métaconnaissances. Ensuite, à travers une prise de conscience plus ou moins importante, cette pensée permet à ce sujet de contrôler la régulation de ses activités, ce qui se traduit par une autorégulation.

## 3. La portée de la métacognition

Les deux ordres de la métacognition ont des fonctions spécifiques. D'une part, les divers types de métaconnaissances informent la personne sur les objectifs de la tâche. Ces connaissances participent ainsi à la sélection, l'évaluation et la renonciation des buts et les stratégies durant l'action. D'autre part, en s'appuyant sur ces événements, l'élève serait capable de mettre en place une activité autoréglée, en créant des plans d'action, en choisissant les stratégies les plus appropriées et en évaluant les résultats en fonction des buts.

Le tableau 1 suivant illustre les composantes de la métacognition regroupant les métaconnaissances et l'autorégulation :

**Tableau 1** : Les composantes de la métacognition

Ordres de la métacognition	Composantes	Eclairage sur les composantes	Auteurs
Métaconnaissances	<b>Personnelle</b>	Représentation de soi lors de l'exécution d'une tâche - ses réactions, ses émotions, ses forces, ses faiblesses	cognitif, situationnel, motivationnel et affectif Flavell (1979, 1987, 1992) ; Legrand (1991), Robert (1993), Dorier (1992), Rogalski (1991) et Artigue (1993), Ferrari, Bouffard & Rainville (1998) et Victori (1999) ; Pintrich (1999). Garner (1987)
	<b>Tâche</b>	La nature, les caractéristiques, l'utilité, l'étendue, les exigences, les conditions de réalisation de la tâche	

	<b>Stratégies</b>	Stratégies générales pour apprendre, stratégies spécifiques pour réaliser des tâches, conscience de l'utilité et des buts de la stratégie, les types de connaissances liés à la stratégie : le quoi, le comment, le quand et le pourquoi	[9,1,2,3,4, 5,12,13,14,15]
<b>Autorégulation cognitive</b>	<b>Planification</b>	Organiser le traitement de l'information, analyser les buts et les exigences de la tâche : choix des stratégies, définition des étapes à suivre, estimation du temps, anticipation du succès	l'aspect exécutif ou procédural  Brown (1987) ; Flavell (1979, 1987, 1992) ; Allal et Saada-Robert (1992) ; Pressley & Levin, (1987); Garner (1987) ; Noël (1991) ;Zimmerman et Risemberg (1997) Bouffard (1998), Zimmerman et al. (2000). Gaveleck et Raphael (1985)  [10,9-8-7,16,6,12,8,13,17,18,19,20]
	<b>Contrôle</b>	Superviser l'exécution de la tâche	
	<b>Auto-évaluation</b>	Apporter les correctifs à la planification, changer de stratégie, arrêter une procédure, continuer la démarche	

Les métaconnaissances constituent une accumulation de connaissances interconnectées qui portent sur la personne, sur la tâche et sur les stratégies [21]. D'autres chercheurs, Ferrari, et al., (1998) and Victori, (1999), constatent que les métaconnaissances jouent un rôle fondamental dans les performances des élèves [13,20].

En ce qui concerne l'autorégulation, les recherches se distinguent quant aux stratégies et aux champs d'apprentissage analysés, mais elles semblent s'accorder autour des stratégies majeures de l'autorégulation cognitive qui sont la détermination du but, la planification, le contrôle et la régulation.

Selon Flavell (1987), dans la détermination du but, l'élève décide du point d'aboutissement des procédures qu'il va mener [21]. Quant à la stratégie de planification, elle renvoie à l'élaboration d'un plan d'action, (Pintrich, 1999) [15]. Pendant la mise en œuvre du plan d'action, la stratégie de contrôle permet à l'élève de surveiller et d'évaluer avant, après et au cours de l'action. Cette stratégie de contrôle est primordiale pour conduire la complexité d'un problème. Par contre, la régulation des activités et de celles des buts, ne cherche pas à influencer le résultat de la tâche en cours, mais agit au profit de l'issue de tâches ultérieures [19,18].

Dans le cadre d'une tâche finalisée, Allal et Saada-Robert (1992) expriment la régulation métacognitive pour décrire le processus d'autorégulation cognitive [16].

Gaveleck et Raphael (1985) a établi que par le souhait de la métacognition (...) qu'elle permet la généralisation des performances à des situations différentes, c'est qu'elle fait de l'apprenant, un sujet auto-évaluateur, quelqu'un qui a appris comment apprendre [20].

Quant aux apports de l'autorégulation, Zimmerman et Risemberg (1997) articulent les stratégies variées telles que la fixation de buts et l'utilisation de modèles ou de guides, jouent un rôle important dans la récursivité et la redéfinition continue des processus de planification, de contrôle et de régulation [17].

#### 4. Matériels et Méthodes

Les participants à cette étude étaient des élèves du tronc commun scientifique, filière baccalauréat international, option française dans un lycée au Maroc. La moyenne de leurs âges est d'environ 16 ans et leur positionnement est la 10<sup>e</sup> année de scolarité à compter de l'entrée en primaire. Nous avons interrogé toute la classe constituée de 33 élèves dont 19 filles et 14 garçons. La spécificité de cette classe est l'enseignement public des points de vue, critères d'admission, programmes, nombre d'heures d'enseignement, débouchées, dans la délégation provinciale, au cours de l'année scolaire 2014 /2015. La composition de cette classe est déterminée à partir d'un geste de sélection sur la base des notes de l'examen au terme de la 3<sup>e</sup> année du secondaire collégial.

Afin de déterminer les niveaux de métacognition exercés par les élèves relativement à une tâche et d'estimer les performances des élèves, en situation de résolution de problèmes en relation avec cette tâche, une expérimentation a été faite avec leur professeur de mathématiques, dans les séances habituelles de cours. Le choix de travailler plus spécifiquement avec cet enseignant volontaire, résulte du fait qu'il s'est montré intéresser par notre objet d'étude ; c'est un enseignant de secondaire qualifiant qui a une expérience de 26 ans dans l'enseignement, il a contribué à

l'encadrement des professeurs stagiaires de mathématiques lors des stages pratiques en tant que conseiller pédagogique, dans le cadre de la formation des enseignants au centre régional des métiers de l'éducation et de la formation de Settat, où j'exerce moi-même la fonction de formateur.

Nous avons mené plusieurs rencontres formelles et informelles, que ce soit dans le cadre de l'accompagnement des professeurs stagiaires au lycée de stage à la fin des séances en classe, que dans des rencontres spécifiques pour chercher à expliciter des décisions prises dans l'action à propos de l'expérimentation. Connaissant les conditions de travail dans le lycée, la non-disponibilité des enseignants après le cours, ces rencontres nous ont tout d'abord semblé difficiles à effectuer. Cependant, une des caractéristiques de cet enseignant, c'est que nous avons eu l'occasion de se rencontrer hors de la classe. Chose qui nous a aidé à préparer l'expérimentation ensemble. Nous avons cherché en effet, moi (le chercheur) et l'enseignant (l'expérimentateur) à documenter la co-construction des problèmes pour mesurer le niveau de développement de stratégie métacognitive chez les élèves en lien avec les problèmes proposés.

Convaincre l'enseignant chargé de la mise en œuvre de l'expérimentation sur le choix des problèmes à proposer aux élèves et qui doivent être issus de la vie quotidienne ou qui ont des liens avec les autres matières, nous a conduit à prendre les considérations suivantes : tout d'abord, l'enseignant n'a jamais exploité avec ses élèves les problèmes complexes et que les élèves eux-mêmes n'ont pas eu l'occasion d'apprendre à gérer le complexe auparavant. Ensuite, il n'était pas possible de proposer à ces élèves des situations demandant des démarches inductives dans la résolution, puisqu'il s'agit de leur première année d'enseignement scientifique donné en langue française, où la compréhension du contexte et la consigne du problème leur posent un grand défi.

Donc, notre choix de la tâche a été voué de telle sorte que le problème ne doit pas être routinier et doit être complexe et que la ou les tâche(s) à résoudre doivent être d'un niveau disponible, selon la typologie de mise en fonctionnement des connaissances d'Aline Robert. Il doit présenter une progression dans la difficulté tout en offrant un avantage à la mise en équations et inéquations par rapport aux méthodes et manipulations algébriques choisies parmi un ensemble de transformations possibles. Dans ce choix, nous nous sommes attachés à proposer des problèmes dans le but d'étudier dans quelle mesure les procédures maîtrisées par les élèves dans des tâches habituelles sont mobilisées, correctement exécutées et coordonnées lorsqu'il s'agit de problèmes non routiniers. Ce choix nous a coûtés en matière de la complexité des problèmes proposés, mais nous a permis de réaliser des gains en matière d'adhésion des élèves dans le processus de résolution.

Dans un premier temps, nous avons demandé aux élèves de résoudre les deux problèmes individuellement et de traiter chaque problème dans une feuille à part.

Afin de collecter plus d'indicateurs, qui favorisent la réflexion métacognitive, nous avons demandé aux élèves de laisser les traces écrites de tous ce qu'ils pensent 'brouillon' en dos de la copie. Ceci nous a aidés d'avoir un aperçu sur la façon de faire et a permis d'inciter les élèves à réfléchir sur les stratégies utilisées, les tâches et les difficultés rencontrées. Dès que les élèves ont commencé la résolution du premier problème en autonomie, l'enseignant responsable de la classe, n'est pas intervenu pendant le processus de résolution, sauf qu'il a répondu à quelques questionnements des élèves, au fil de la séance afin de leur permettre d'exprimer spontanément leurs réflexions. Il encourage les élèves à faire des liens entre les problèmes posés, les séances de cours et d'exercices déjà vu. Pendant une période de recherche de 20 mn, les élèves ont produit des solutions du premier problème.

Après avoir terminé cette tâche, les élèves étaient invités à remplir un questionnaire pour mesurer les niveaux de métacognition. Juste après cette tâche, l'enseignant a fait la correction du premier problème avec ses élèves. Pour faire travailler l'aspect motivationnel, l'enseignant a essayé de transmettre aux élèves un sentiment de confiance et d'encouragement, notamment en soulignant les aspects positifs dans le processus de résolution des élèves, et a cherché à développer un style attributif adéquat chez eux, en leur montrant les liens entre un comportement stratégique et les performances en résolution de problèmes. Juste après, nous avons demandé aux élèves de résoudre en autonomie le deuxième problème.

Enfin, nous avons sollicité trois enseignants de mathématiques extérieurs à la recherche pour évaluer la qualité des productions des élèves à l'aide d'une grille. Chaque production a été évaluée par les trois évaluateurs qui notaient tous les items de la grille.

### *Instruments de mesure*

#### *Élaboration du questionnaire afin de mesurer les niveaux de métacognition :*

Pour mesurer les niveaux de métacognition manifestée par les élèves lors de la résolution de la tâche, nous avons servi d'un questionnaire (annexe1). Cet outil a été construit à partir de la classification des composantes métacognitives proposée par Flavell (1992) qui comprend les métaconnaissances et l'autorégulation [7]. Pour élaborer les items correspondant à la première catégorie, nous nous sommes inspirés des travaux d'Escorcía & Fenouillet (2011) [22].

Ainsi, cette partie du questionnaire cherchait à mesurer trois types de métaconnaissances ; qui sont : des connaissances personnelles, des connaissances sur la tâche et des connaissances sur les stratégies :

Connaissances personnelles de l'élève en tant que producteur de la tâche :

- Savoir organiser les informations dont il dispose avant de résoudre le problème.
- Avoir du mal à reconnaître les forces et les faiblesses dans le domaine de résolution de problèmes.
- Savoir se motiver pour résoudre le problème.
- 

Des connaissances sur les stratégies :

- Être un bon juge de la qualité de la solution trouvée.
- Lorsqu'on utilise une méthode durant la résolution du problème, c'est après avoir fixé un objectif précis à l'esprit.
- Quel que soit l'objectif du travail, on utilise toujours les mêmes méthodes.
- Rédiger une solution d'une tâche donnée à partir d'une réflexion sur la combinaison de deux ou plusieurs connaissances mathématiques.

Des connaissances sur le type de la production :

- Avant de commencer, on doit connaître la structure du type de résultat à produire.
- Savoir quelles sont les caractéristiques du type de solution qu'on doit produire.
- Prendre conscience des difficultés du type de résultat seulement quand on devrait être en train de résoudre le problème.

Nous avons également fait appel à la classification des stratégies d'autorégulation identifiées par Zimmerman et Martinez Pons (2004) [23]. Ainsi que plusieurs stratégies telles que la fixation de buts, l'utilisation de standards d'évaluation, l'auto-enregistrement, l'auto-instruction, la structuration de l'environnement et le choix de modèles inspirés des travaux d'Escorcia et Fenouillet (2011) [22].

Fixation d'objectifs :

- Prendre en compte les objectifs de la tâche avant la résolution du problème.
- Commencer à résoudre le problème dès la lecture de la consigne.

Prévision d'un plan :

- Réfléchir à ce qui sera nécessaire de faire avant de commencer.
- Au début, on doit faire un plan en organisant les idées à traiter.

Enregistrement de son comportement :

- Faire d'abord une liste de savoirs mathématiques à utiliser pour aborder le problème.
- Estimer le résultat du problème avant la résolution complète.

Utilisation de modèles ou méthodes :

- Utiliser un modèle ou une méthode déjà vue pour identifier les points à développer.
- Se baser exclusivement sur son propre point de vue quant à la qualité du résultat.

Structuration du contexte :

- Quand on doit être en situation de résolution de problèmes, le lieu où on agit est secondaire.

Auto instruction ou dialogues avec soi-même :

- Pendant la résolution, on doit se dire à haute voix ou mentalement ce qu'on devrait faire.

Utilisation de critères d'autoévaluation :

- Analyser l'efficacité des façons de faire pendant la résolution du problème.
- Évaluer la qualité de la production uniquement après avoir fini la résolution.

Pour répondre au questionnaire, les élèves devaient noter sur une échelle de Likert qui contenait quatre degrés (jamais, rarement, fréquemment et tout le temps), la fréquence à laquelle les caractéristiques citées s'adaptaient le mieux à leur situation quand ils sont en train de résoudre un problème.

Afin d'examiner la clarté et la pertinence de la première version du questionnaire, qui contenait 22 items, nous l'avons administré auprès de 9 élèves du tronc commun de la première année du baccalauréat scientifique.

Une analyse des différentes remarques manifestées par ces élèves nous a permis d'éliminer quelques idées supplémentaires et de reformuler les items du questionnaire afin de les rendre plus compréhensibles par les élèves.

Nous avons achevé la validité de cet outil, par des analyses factorielles et des calculs de la fiabilité, qui ont été menées pour mesurer la consistance ; c'est-à-dire, jusqu'à quel point plusieurs mesures prises avec le même instrument donneront les mêmes résultats dans les mêmes circonstances et jusqu'à quel point cet instrument mesure ce qu'il est supposé mesurer.

### *Élaboration d'une grille d'évaluation des productions des élèves :*

Afin de déterminer les performances des élèves en situation de résolution des problèmes, les productions des élèves ont été évaluées avec une note chiffrée de 0 à 20 (chaque problème est noté sur 10). Ensuite, mesurer la qualité des productions en fonction des critères d'évaluation repérés dans une étude effectuée par Abouhanifa (2012) [24]. Les trois enseignants évaluateurs devaient estimer, à partir d'une échelle graduée de 1 à 4, leur niveau d'accord avec chaque affirmation proposée (8items ci-dessous, représentent des indices de performances génériques). Les critères minimaux pris en compte dans cette évaluation sont :

- L'interprétation correcte du problème ou la pertinence de la production (C1) : la production de l'élève correspond-elle aux consignes données ? Est-ce que l'élève a choisi les ressources convenables pour résoudre le problème.
  - L'élève a suivi la consigne (la question proposée)
  - L'élève s'est appuyé sur des connaissances mathématiques pertinentes pour résoudre le problème
- L'utilisation correcte des outils de la discipline (C2) : l'élève utilise-t-il correctement, en situation, les ressources : connaissances, concepts et savoir-faire de la discipline mathématique ?
  - L'élève a utilisé convenablement les connaissances, les concepts et les savoirs mathématiques nécessaires.
  - L'élève a respecté les normes de syntaxe mathématiques.
- La cohérence interne de la production (C3) : la production est-elle bien agencée ? Vraisemblable (ordre de la grandeur) ? Complète ? pas de contradiction ?
  - L'élève a présenté sa production correctement.
  - L'élève a exercé une vérification face au résultat obtenu.
- Perfectionnement (C4) : mesure l'excellence dans la production de l'élève.
  - L'élève a exprimé dans son raisonnement, une flexibilité dans le passage d'un cadre à l'autre (graphique, algébrique, géométrique).
  - L'organisation de la démonstration reflète une bonne compréhension du problème.

Notons que les élèves ne sont pas initiés avec ces critères. Des résultats de recherche de Bonniol (1985) ont montré qu'un élève qui connaît a priori les critères d'évaluation effectue des meilleures performances à l'examen, parce qu'il sait comment conduire sa réflexion dans la préparation de l'examen et ils constituent une base pour son autoévaluation [25]. Ce principe d'autoévaluation déclenche des démarches métacognitives chez l'élève. Les travaux sur l'autoévaluation et la métacognition de Grangeat (1998) ; Noël (2001) et Allal (2001) [26,27,28] mettent en évidence l'apport de ces types de pratiques dans la régulation des apprentissages.

## 5. Résultats et Discussion

### 5.1. Analyse a priori de deux problèmes

Les problèmes proposés aux élèves sont les suivants :

#### **Problème 1 :**

ABCD est un carré de côté  $x$  exprimé en cm, avec  $x > 6$ .

E est le point du segment [AB] tel que  $EB = 6$  cm.

Peut-on trouver les valeurs de  $x$  pour que l'aire du carré soit strictement supérieure au triple de l'aire du triangle AED ?

#### **Problème 2 :**

Pendant une expérience, l'altitude en mètres d'un projectile lancé à partir du sol est donnée à l'instant  $t$  en secondes par la formule :  $h(t) = -5t^2 + 100t$  (l'origine du repère correspond à l'instant  $t = 0$ ).

A quel instant le projectile retombe-t-il au sol ?

Déterminer la période pendant laquelle l'altitude du projectile est supérieure ou égale à 320 m.

Les tâches mathématiques proposées ont été créées sur la base du programme et des orientations pédagogiques du secondaire qualifiant. Voici un extrait du programme du tronc commun scientifique : « (..)Résoudre des équations et des inéquations se ramenant à la résolution d'équations et d'inéquations du premier ou du second degré à une inconnue ;

mathématiser, en utilisant des expressions, des équations, des inéquations, des inégalités ou des systèmes, une situation faisant intervenir des quantités variables. Des problèmes, issus de la vie quotidienne ou des autres matières, devront être proposés dans le but d'habituer les élèves à mathématiser des situations et de les résoudre ».

Résoudre une équation ou une inéquation consiste à trouver toutes les valeurs que la variable peut prendre pour valider l'équation de départ. Certaines règles doivent être respectées lors de la résolution d'équations et d'inéquations. De plus, il est toujours possible de vérifier si la valeur obtenue est une solution ou non par une méthode simple de validation. Au secondaire qualifiant la mise en équation par la modélisation prend une grande importance. En effet, les objectifs spécifiques du programme officiel sont de rendre l'élève capable de mettre en équation un problème donné. Il est recommandé que ces problèmes soient puisés dans le domaine mathématique ; ou dans le domaine de la physique ; ou encore dans l'environnement social et économique de l'élève. De plus, on recommande de dégager les différentes phases de la résolution d'un problème. Ainsi d'un point de vue didactique, on favorise l'articulation entre les différents registres et cadres de travail possibles.

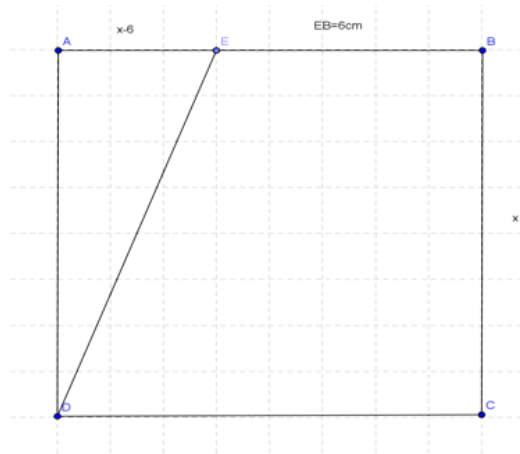
Le choix des problèmes doit permettre une progression dans la difficulté tout en offrant un avantage à la mise en équations et inéquations. Dans ce choix, nous nous sommes attachés à proposer des problèmes dans le but d'étudier dans quelle mesure les procédures maîtrisées par les élèves dans des tâches habituelles et simple sont mobilisées, correctement réalisées et articulées lorsqu'il s'agit des problèmes complexes.

Pour le problème 1 :

Les réponses que l'élève pourrait mettre en œuvre dans la résolution du problème 1 sont de deux types :

- Le premier type ne tient en compte, de la condition de l'inégalité dans l'énoncé ( $x > 6$ ), que lors de la vérification du résultat issu d'un raisonnement algébrique (Figure 1).

**Figure 1 :** Visualisation de l'expression algébrique.



Le choix de l'inconnue  $x$  comme mesure du côté du carré est fortement suggéré par le problème. Cependant, l'élève doit mobiliser ses connaissances antérieures sur le calcul de l'aire d'un triangle et l'aire d'un carré pour identifier ou mettre en évidence la relation demandée. Cette relation ne peut être déduite directement du texte que lorsque l'élève fait le lien entre le cadre géométrique et le cadre algébrique. Interpeller les formules de l'aire d'un carré et celle de l'aire d'un triangle, l'élève exprime, l'aire du carré ABCD est égal à  $x^2$  et l'aire du triangle AED est égal à  $(x - 6) * x / 2$ . Avec un contrôle sémantique, l'élève explicite le mot triple exprimé dans l'énoncé « l'aire du carré soit strictement supérieure au triple de l'aire du triangle AED ».

Par une mise en inéquation du problème, l'élève met en relation les deux expressions algébriques pour discerner l'inégalité suivante :  $x^2 > 3 * (x - 6) * x / 2$ .

Pour résoudre l'inéquation, par un calcul algébrique, l'élève montre que cette inéquation est équivalente à :

-  $x^2 + 18x > 0$ . Dans la suite du raisonnement, deux procédures sont possibles :

- Puisque  $x > 6$  et  $x * (-x + 18) > 0 \Leftrightarrow -x + 18 > 0 \Leftrightarrow -6 < x < 18$  car  $x > 6$ .
- Procéder par une étude de signe du produit  $x * (-x + 18)$  en faisant appel à la condition sur  $x$  ( $x > 6$ ) ; les valeurs de  $x$  sont donc, dans l'intervalle] 6, 18[.

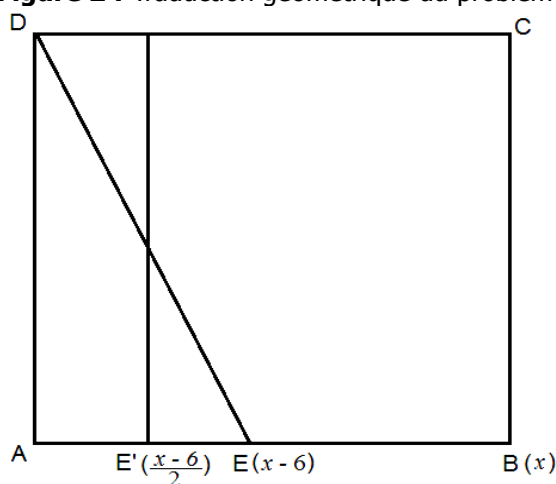
Ou bien l'élève pourra continuer son raisonnement où il s'agit là encore d'une résolution algébrique. La différence par rapport à la première méthode réside seulement dans la désignation des symboles. On parle dans ce cas de changement d'ostensifs et non de changement de cadres.

À partir de l'inégalité  $S_{ABCD} > 3 S_{AED}$  il déduit que  $AB^2 > 3AE \cdot AB/2$  avec la condition  $AE = AB - EB$   
Il obtient par la suite que :  $AB < 3EB$  d'où  $6 < AB < 18$

- Le deuxième type de raisonnement tient en compte, la condition de l'inégalité dans l'énoncé ( $x > 6$ ), en demeurant dans le raisonnement géométrique.

Dans le premier type de raisonnement, l'inégalité exprimée dans l'énoncé n'a en effet pas de traduction géométrique. Une remarque toutefois : La géométrie permet de ramener la question posée à un problème unidimensionnel, la condition à remplir revenant à l'inégalité  $AB > 3AE'$ , où  $E'$  est le milieu du segment  $[AE]$  comme l'illustre la figure 2 ci-dessous.

**Figure 2 :** Traduction géométrique du problème.



De l'inégalité  $AB > 3AE'$ , où  $E'$  est le milieu du segment  $[AE]$ , on peut déduire l'inégalité :  $AB \cdot AB > 3AE' \cdot AB$  d'où l'inégalité  $x^2 > 3 \cdot (x-6) \cdot x/2$ .

Dans les deux types de raisonnements, les procédures apprises ne sont pas nouvelles pour les élèves, mais ces derniers ne sont pas tout à fait familiers à ce genre de problème. Et puisque c'était leur première année d'apprentissage des mathématiques avec la langue française, ces élèves ont posé des questions pour disposer du sens de quelques mots, par exemple : côté, triple, carré, aire- surface, etc. de même quelques-uns ont demandé la formule du calcul de l'aire du triangle et l'aire du trapèze.

L'élève peut trouver des difficultés dans la modélisation du problème en une inéquation mathématique ; par exemple dans la réponse à la question : que dois-je faire pour trouver les valeurs de  $x$  pour que l'aire du carré soit supérieure au triple de l'aire du triangle, cette difficulté mesure le degré de compréhension et la capacité d'interpréter correctement le contexte du problème. Aussi, une autre difficulté de combiner les registres de raisonnements pour résoudre le problème et en fin, les stratégies de résolution algébrique de l'inéquation.

Pour le problème 2 :

Le problème 2 est structuré en deux tâches qui font appel à deux inconnues indépendantes :

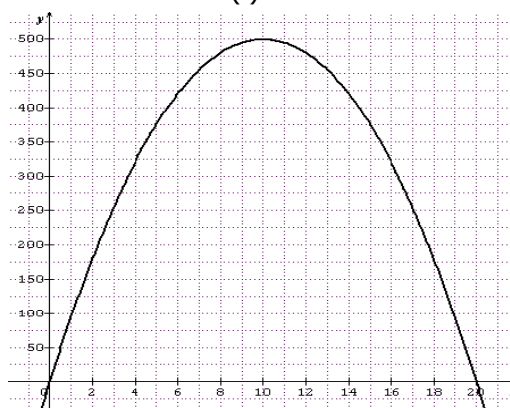
- L'instant  $t$  auquel le projectile retombe au sol.
- L'intervalle de temps  $t$  à laquelle l'altitude du projectile est supérieure ou égale à 320 m.

Le choix des deux inconnues est fortement suggéré par le problème. L'élève pourrait suivre les démarches suivantes pour résoudre ce problème.

Pour la tâche 1 :

La réponse à cette question ne peut être déduite directement du texte que lorsque l'élève fait le lien entre le registre graphique et le registre algébrique (une indication est donnée dans l'énoncé du problème : l'origine du repère correspond à l'instant  $t = 0$ ).

**Figure 3 :** La représentation graphique de la courbe de l'altitude  $h(t) = -5t^2 + 100t$ .



- En supposant la présence des moyens dont dispose l'élève (supposés être au niveau concerné) pour tracer la courbe ci-dessus ou d'une telle fonction. L'élève peut résoudre graphiquement l'équation  $h(t)=0$ , dont les solutions sont :  $t = 0$  et  $t = 20$ .
- L'élève résout l'équation suivante  $h(t) = 0$  c'est-à-dire que :  $h(t) = -5t^2 + 100t = 0 \Leftrightarrow h(t) = t(-5t + 100) = 0$   
 $\Leftrightarrow t = 0$  ou  $t = 20$

La résolution du problème doit être faite par équivalence, si non, il faut que l'élève doit vérifier les valeurs trouvées pour conclure qu'elles sont bien solutions. Par ailleurs, cette méthode de résolution montre que le lien entre les registres graphique et algébrique n'est pas nécessaire pour répondre à la question. Et d'ailleurs la résolution algébrique pourrait paraître plus facile pour les élèves. C'est que la première méthode demande que l'élève interprète d'abord la situation graphiquement, il doit ensuite construire la fonction  $h(t)$ , et finalement interpréter et lire la solution graphiquement.

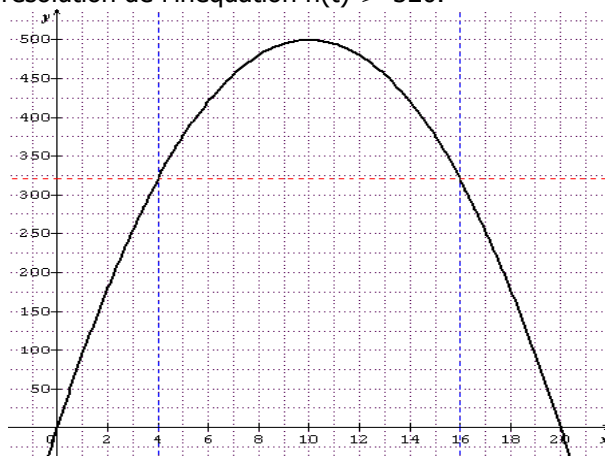
- L'élève utilise les procédures apprises pour résoudre l'équation et par un contrôle de vérification, il choisit la solution convenable :  $t = 20$ s.

Pour la tâche 2 :

L'élève doit mobiliser ses connaissances sur les fonctions pour trouver la relation entre l'instant  $t$  pendant laquelle l'altitude du projectile est supérieure ou égale à 320 m. Dans ce cas, l'élève peut remarquer deux méthodes pour répondre à cette tâche ; il doit tout d'abord formuler la question algébriquement  $h(t) \geq 320$ , puis l'interpréter graphiquement :

- Par une méthode graphique, l'élève peut tracer la droite d'équation  $y = 320$ , (Figure 4) ci-dessous. Ensuite, il peut déduire l'ensemble des valeurs qui vérifie  $h(t) \geq 320$ .

**Figure 4 :** Représentation graphique manifestant la résolution de l'inéquation  $h(t) \geq 320$ .



- Dans le registre algébrique :

L'élève résout l'inéquation  $h(t) \geq 320$  c'est à dire  $h(t) = -5t^2 + 100t \geq 320$

Donc, ce qui revient à résoudre  $-5t^2 + 100t - 320 \geq 0$ .

Par la suite, l'élève en passant par l'étude du signe d'un trinôme de second de degré, il retrouve le résultat  $4 \leq t \leq 16$ . Nous pouvons remarquer que dans ces deux méthodes les élèves mobilisent des connaissances propres à la résolution d'une inéquation.

Les erreurs qui pourraient être commises par les élèves :

L'élève peut trouver des difficultés de passer d'un domaine de discipline à l'autre (physique -mathématique).

Ce problème 2 ressemble aux problèmes du domaine de la physique ; dont le contexte est nouveau pour les élèves. Ces derniers ont posé des questions pour recevoir des explications de quelques mots, par exemple : projectile, l'altitude. Un élève a posé la question : est-ce que l'altitude est égale à la hauteur ?

L'élève doit tenir compte du choix de l'unité convenable. Tous les calculs tombent juste et l'ensemble de solutions sera un intervalle fermé (contenant les extrémités 4 et 16).

À côté de l'étude des variables didactiques des deux problèmes exposés auparavant et les effets sur le travail effectué par les élèves, l'analyse peut apporter des modifications sur les éléments qui sont orientés vers les démarches, stratégies, raisonnements, procédures, solutions que l'élève peut mettre en œuvre dans la résolution qui lui est proposée compte tenu de ses connaissances supposées. Ainsi que les difficultés qu'ils peuvent rencontrer et les erreurs qu'ils peuvent commettre.

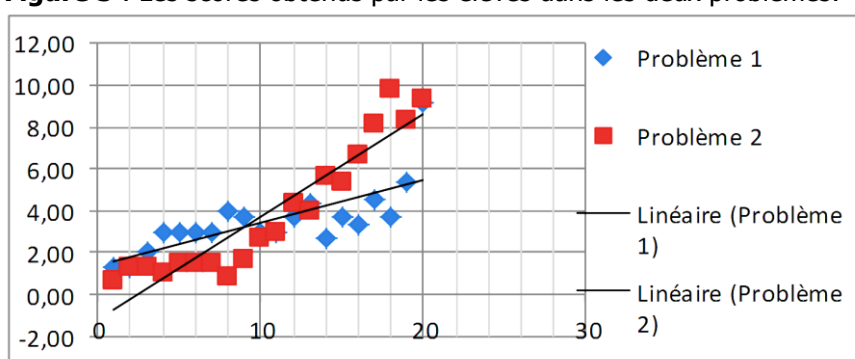
## 5.2. Les résultats de l'analyse et les enseignements sollicités

Le logiciel SPSS a été utilisé pour déterminer les moyennes et les corrélations (coefficient de Bravais-Pearson) entre les variables « niveaux de métacognition (MTCG) » et « performances en résolution de problèmes (PRP) ». Aussi, des groupes de performance (allant des niveaux faibles à fort) ont été constitués afin de les comparer en fonction de leurs scores de métacognition.

**5.2.1. Évaluation des productions des élèves à travers les scores obtenus :** Le score attribué à chaque élève résultait enfin de la moyenne des évaluations des trois enseignants. Le tableau 2 en annexe illustre la moyenne des scores des élèves regroupés en quatre catégories.

Le graphe (figure5) ci-dessous, représente la moyenne des scores attribués par les trois évaluateurs à chaque problème pour chaque élève. Sur l'axe des abscisses, on porte les effectifs des élèves (jusqu'à 20) et sur l'axe des ordonnées, on porte la moyenne de la note sur 10, pour chaque problème.

**Figure 5 :** Les scores obtenus par les élèves dans les deux problèmes.



Afin d'analyser la pertinence des stratégies métacognitives lors de la séance d'expérimentation avec les élèves, nous avons réparti les élèves en trois groupes (score fort, score moyen et faible score) en fonction du nombre d'occurrences de chaque stratégie lors de la première séance de résolution du premier problème. Les résultats (figure5) montrent bien que les élèves du groupe à score fort dans la résolution du deuxième problème montrent plus de stratégies métacognitives que dans la résolution du premier problème. Par contre, les élèves du groupe à faible score dans la résolution du premier problème n'ont pas explicité de stratégies métacognitives dans la résolution du deuxième problème ; étant donné qu'ils n'en prennent pas en considération lors de la résolution. Les élèves qui se situent entre ces deux extrêmes sont attribués au groupe, à score moyen.

L'évaluation des productions des élèves indique une note moyenne de 7,47 sur 20 (notre moyenne de 3,53 sur 10 pour le premier problème et de 3,94 sur 10 pour le deuxième problème). Pour déterminer le niveau de performance en résolution de problèmes, nous avons créé quatre groupes en fonction des notes attribuées par les trois enseignants évaluateurs (Tableau 6 en annexe 2).

Quant au rapport entre les performances en résolution de problèmes et les niveaux de la métacognition, nous notons qu'il apparaît une très forte corrélation positive entre les niveaux de la métacognition et ses composantes, à savoir les métaconnaissances et l'autorégulation d'une part, avec les performances des élèves en résolution de problèmes de l'autre part. De même, l'analyse de chaque composante révèle qu'il existe une corrélation entre les métaconnaissances et la variable performance en résolution de problèmes. Cependant, les stratégies d'autorégulation n'ont pas de lien significatif avec la production de bonne qualité en résolution de problèmes (Tableau 7 et tableau 8 en annexe 2).

**5.2.2. Évaluation des productions des élèves à travers les critères :** Les évaluateurs, avant de prendre une décision, devraient relever, dans la copie de l'élève, des informations et examiner le degré d'adéquation entre ces informations et un ensemble de critères et d'indicateurs prédéfinis, avant de prendre une décision. Le tableau 2 suivant synthétise les critères et les indicateurs qui les associés, en rapport avec les deux problèmes.

**Tableau 2 :** Grille de correction selon les critères d'évaluation et les indicateurs de performances, relativement aux deux problèmes.

	<b>Interprétation correcte du problème (C1)</b>	<b>Utilisation correcte des outils de la discipline (C2)</b>	<b>Cohérence (C3)</b>	<b>Critère de Perfectionnement (C4)</b>
Problème 1	Faire un dessin qui représente le problème. Choisir l'inéquation convenable (SABCD > 3 SAED)	Les stratégies de résolution de l'inéquation sont correctes ou le raisonnement géométrique correct.	Le résultat trouvé vérifie vraiment la condition du problème ( $x > 6$ ) Raisonnement correct (pas de contradiction).	une démonstration qui sort de l'ordinaire, indicateur d'excellence
Problème 2 Tâche 1	Choisir l'équation 'de l'altitude' $h(t) = -5t^2 + 100t = 0$ Faire le lien entre le registre graphique et le registre algébrique.	Résoudre l'équation correctement (graphiquement ou algébriquement)	L'unité de mesure est respectée (seconde). L'enchaînement des étapes.	
Problème 2 Tâche 2	Choisir la relation entre l'instant t pendant laquelle l'altitude du projectile est supérieure ou égale à 320 m ( $h(t) \geq 320$ )	Résoudre l'inéquation correctement (graphiquement ou algébriquement)	L'enchaînement des étapes de raisonnement. L'instant t trouvé est vraisemblable (de 4s à 16s)	

Pour déterminer le niveau de performances en situation de résolution de problèmes, les valeurs de 1 à 4 assignées par les trois enseignants évaluateurs à chaque item de l'outil d'évaluation (8 items au total) et les résultats sont résumés dans le tableau 3 suivant :

**Tableau 3 :** les niveaux de performances en situation de résolution de problèmes.

	Valeur moyenne	Valeur minimum	Valeur maximum	Effectif	Ecart type	Somme	Part
s'appuyer sur connaissances pertinentes	2,10	1	4	20	0,64	42	15,6
utiliser convenablement connaissances	1,95	1	4	20	0,83	39	14,5
respecté les normes de syntaxe	1,85	1	4	20	0,75	37	13,8
vérification face au résultat	1,85	1	3	20	0,49	37	13,8
démonstration reflète une bonne compréhension	1,80	1	4	20	0,77	36	13,4
suivre la consigne	1,35	1	4	20	0,75	27	10,0
flexibilité dans le passage d'un cadre	1,30	1	4	20	0,73	26	9,7
production correcte	1,25	1	4	20	0,72	25	9,3
<b>Ensemble</b>	<b>1,68</b>	<b>1</b>	<b>4</b>			<b>269</b>	<b>100,0</b>

Les résultats ressortis de l'évaluation exercée par les trois enseignants montrent que ces derniers ont accordé plus d'importance au critère de l'utilisation correcte des outils mathématiques (C2) en premier lieu. Ensuite, vient le critère de

la compréhension du problème, c'est-à-dire, l'interprétation correcte du problème ou la pertinence de la production (C1). Quant aux deux autres critères, la cohérence interne de la production (C3) et le perfectionnement (C4), ils ne sont pas très sollicités dans cet acte d'évaluation.

**5.2.3. Lien entre les scores au test, les critères et la mesure des niveaux de métacognition :** Un critère minimal est déclaré comme respecté, si sur trois occasions indépendantes de vérifier le critère, l'élève atteste sa maîtrise dans deux occasions sur trois ; la règle des 2/3 (une maîtrise partielle) au sens du De Ketele (1996) [29]. Si l'on suppose l'existence d'une concordance entre les scores et les critères de performances, on peut estimer un score d'environ 7 sur 10 au moins, dans chaque problème, pour une maîtrise partielle des critères.

Dans l'analyse, grâce au code affecté à chacune des copies des élèves, on peut parvenir à une correspondance entre les critères respectés et les stratégies métacognitives ainsi développées.

Le tableau 4 ci-dessous récapitule les résultats qui déploient le lien entre les scores au test, les critères d'évaluation et les composantes métacognitives (MTCG).

**Le tableau 4 :** Lien entre les scores au test, les critères d'évaluation et les composantes métacognitives (MTCG)

Catégories	Problème	Moy. Scores sur 10	Critères respectés	Les stratégies de MTCG développées	Codes des élèves concernés
<b>G1</b>	1	2,58	Absence	Absence	7-6-11-8-
	2	1,21	Absence	Absence	16-17-19-14
<b>G2</b>	1	3,43	C1	Très peu de MTCN et sans AUTR	4- 12-10-
	2	3,81	C1	Très peu de MTCN et peu d'AUTR	2- 9-13-18
<b>G3</b>	1	4,21	C1 et C2	Très peu de MTCN et peu d'AUTR	15-20-5-3
	2	8,25	C1, C2 et C3	AUTR et peu de MTCN	
<b>G4</b>	1	9,17	Tous les critères	AUTR et MTCN	1
	2	9,33		AUTR et MTCN	

Nous retenons tout d'abord qu'il y a une connexion entre les critères d'évaluation et les composantes de stratégies métacognitives. Nous pouvons donc associer les critères (C1) et (C4) aux stratégies de métaconnaissances et les critères (C2) et (C3) aux stratégies d'autorégulation. En effet, dire qu'un élève donne une interprétation correcte du problème en conservant la consigne (C1) et rédiger la solution d'un problème donné à partir d'une réflexion sur la combinaison de deux ou plusieurs connaissances (C4) ; si deux affirmations amènent à la stratégie qui concerne les connaissances sur le type de tâche, comme composante de métaconnaissances. De même, les critères (C2) et (C3) peuvent indiquer la planification, le contrôle et l'autoévaluation comme composantes d'autorégulations cognitives.

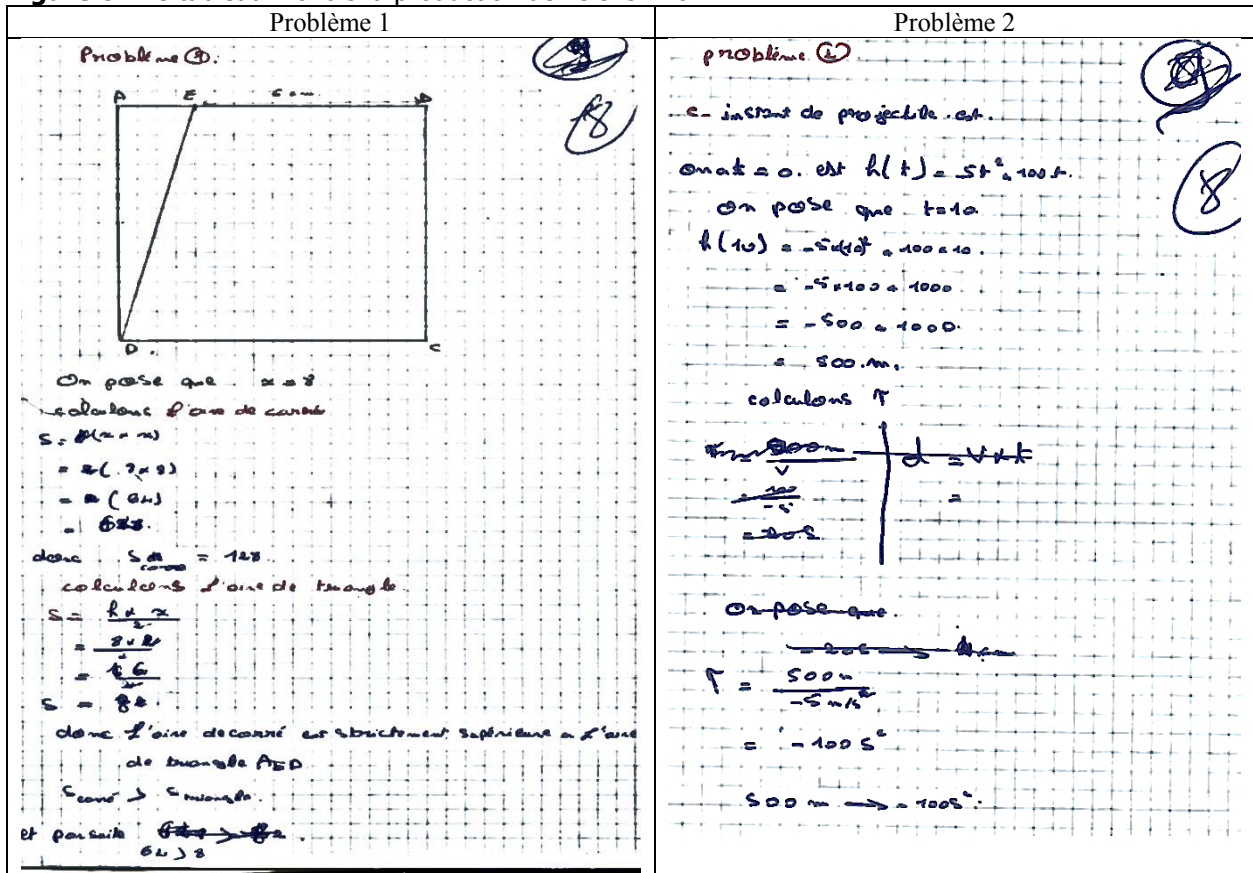
On constate de même que les élèves qui appartiennent au groupe ayant un niveau supérieur de métaconnaissances obtiennent aussi les meilleurs scores dans les deux problèmes.

Dans un premier temps, par le biais de cette correspondance entre les critères de performances respectés et les niveaux de métacognitions, on peut parvenir à exhiber comment les métaconnaissances et les stratégies de régulation pourraient intervenir dans la résolution des deux problèmes ; ou, diversement, leur absence pourrait entraîner des obstacles de résolution.

Dans un second temps, on enfoncera l'analyse par une analyse à composante principale (ACP), (voir le paragraphe 4.2.3. Mesure des niveaux de métacognitions et performances des élèves), qui permet de déterminer les composantes métacognitives susceptibles de repérer une certaine influence sur la performance des élèves en situation de résolution de problèmes.

Illustrations des exemples de production pour chaque catégorie d'élèves : Pour la catégorie 1 (G1)

Figure 6 : Le tableau montre la production de l'élève N°8.



Dans la copie de l'élève N°8 (figure 6), ce dernier a représenté le problème 1 dans un dessin, mais il n'a pas pu réussir à discerner l'inéquation convenable où ( $S_{ABCD} > 3 S_{AED}$ ). Avec un exemple d'essai-erreur (comme style de vérification empirique), il a donné une valeur à  $x = 8$ , il a trouvé que la surface du carré est égale à  $2 \times 64 = 128$  et la surface du triangle est égale à 8. Ensuite, il a déduit que  $S_{ABCD} > S_{AED}$ .

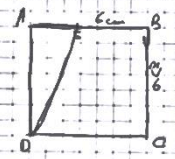
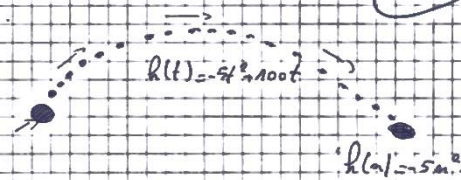
De par cette interprétation erronée du problème et la difficulté de suivre la consigne ainsi demandée ( $S_{ABCD} > 3 S_{AED}$  au lieu de  $S_{ABCD} > S_{AED}$ ), il se révèle difficile pour cet élève de déterminer l'objectif majeur de la tâche et par le défaut dans les connaissances préalables qui doivent être mobilisées pour la résolution de ce problème ainsi que la carence dans la cohérence de sa solution (généraliser à partir d'un exemple), montrent une faiblesse quant aux stratégies d'autorégulation cognitive.

Dans le problème 2, l'élève a procédé avec la même démarche. Il débute sa solution par un exemple en prenant  $t = 10$ . Après avoir calculé  $h(10) = 500 \text{ m}$ , son brouillon montre qu'il a réfléchi sur l'exploitation de la formule déjà connue afin de relier la vitesse, la distance et le temps. Ensuite, il a calculé le temps  $t = -100 \text{ s}$ ; cette erreur montre le manque de l'activité de contrôle chez cet élève, il n'a pas la sensibilité à la contradiction et la capacité de la surpassée.

Somme toute, ce manque de stratégies, de métaconnaissances et d'autorégulation, fait obstacle aux élèves de cette catégorie (G1) d'avancer dans la résolution du problème.

Illustrations des exemples de production pour chaque catégorie d'élèves : Pour la catégorie 2 (G2)

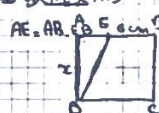
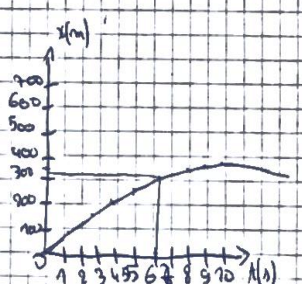
Figure 7 : Le tableau montre la production de l'élève N°13.

Problème 1	Problème 2
<p>obtiens :</p>  <p>Peut on trouver les valeurs de <math>x</math> pour que l'aire du carré soit strictement supérieure au triple de l'aire du triangle AED ?</p> <p><math>S_{AOC} &gt; 3 \times S_{AED}</math></p> <p><math>AB \times AB &gt; 3 \times \frac{AE \times AD}{2}</math></p> <p><math>(6 \times 6) &gt; 3 \times \frac{x \times 6}{2}</math></p> <p><math>36 &gt; 9x</math></p> <p><math>4 &gt; x</math></p> <p><math>x^2 + 12x + 36 &gt; 3x^2 + 18x</math></p> <p><math>2x^2 + 24x + 36 &gt; 3x^2 + 18x</math></p> <p><math>2x^2 - 3x^2 + 24x - 18x + 36 - 18x &gt; 0</math></p> <p><math>-x^2 + 6x - 18 &gt; 0</math></p> <p><math>x^2 - 6x + 18 &lt; 0</math></p> <p><math>(x-3)^2 + 9 &lt; 0</math></p> <p><math>x^2 - 6x + 9 + 9 &lt; 0</math></p> <p><math>x^2 - 6x + 18 &lt; 0</math></p> <p><math>(x-3)^2 + 9 &lt; 0</math></p> <p><math>(x-3)^2 &lt; -9</math></p> <p><math>x^2 - 6x + 18 &lt; 0</math></p> <p><math>x^2 - 6x + 9 &lt; -9</math></p> <p><math>(x-3)^2 &lt; -9</math></p> <p><math>x^2 - 6x + 18 &lt; 0</math></p> <p><math>x^2 - 6x + 9 &lt; -9</math></p> <p><math>(x-3)^2 &lt; -9</math></p> <p><math>x^2 - 6x + 18 &lt; 0</math></p> <p><math>x^2 - 6x + 9 &lt; -9</math></p> <p><math>(x-3)^2 &lt; -9</math></p>	<p>Problème 2</p> <p><math>h(t) = -5t^2 + 100t</math></p> <p><math>h = \text{hauteur}</math></p> <p><math>t = \text{temps}</math></p>  <p><math>h(0) = 0</math></p> <p><math>h(20) = -5 \times 20^2 + 100 \times 20</math></p> <p>1- A quel instant le projectile retombe-t-il au sol ?</p> <p><math>h(t) = 0</math></p> <p><math>-5t^2 + 100t = 0</math></p> <p><math>t(-5t + 100) = 0</math></p> <p><math>t = 0</math> ou <math>-5t + 100 = 0</math></p> <p><math>-5t = -100</math></p> <p><math>t = 20</math></p> <p>donc <math>t = 20</math></p>

L'élève N°13 (figure 7) est en train de chercher l'inconnue  $x$  demandée. Ici, on voit qu'il a réussi à formuler la tâche dans le registre algébrique, en utilisant correctement les formules des aires du carré et du triangle. Il s'est trompé lorsqu'il a exprimé  $AB$  en fonction de  $x$ . Puis il n'a pas tenu compte de la condition sur  $x$ , mais cette question se posera une fois qu'il aurait résolu son inéquation. Ce qu'il n'est pas réussi à faire. Il nous semble que les erreurs de l'élève sont dues à une insuffisance dans l'appropriation des données de l'énoncé. Dans sa réponse aux items du questionnaire, cet élève a attesté qu'il ne connaît pas toujours la structure de type de résultat à produire ni les caractéristiques du type de solution qu'il doit produire. Ceci même qu'il avait procédé par une réflexion avant de commencer la résolution. Cette conception s'explique, en grande partie, par un manque de connaissances sur le type de tâche comme composante de métaconnaissances et de manque de la fixation de buts comme composante d'autorégulation. En effet, la solution du problème 1 affirme ce manque de précision dans la fixation de l'objectif du travail. Tandis que, dans le problème 2, les stratégies de métaconnaissances de cet élève sont légèrement évoluées. Il a bien interprété la première consigne de ce problème, il a combiné entre la représentation schématique et la résolution algébrique. Cependant, il n'a pas pu accomplir la résolution.

Illustrations des exemples de production pour chaque catégorie d'élèves : Pour la catégorie 3 (G3)

Figure 8 : Le tableau montre la production de l'élève N°3

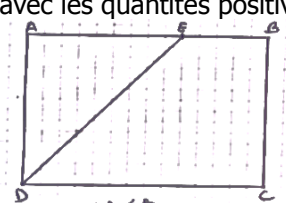
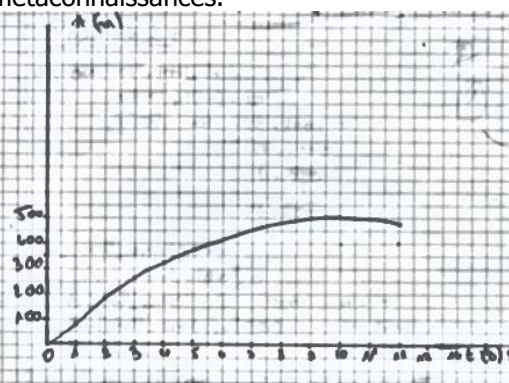
Problème 1	Problème 2
<p>Problème 1:</p> <p>On pose <math>(3)</math> <math>S. ABCD = AB \times AD = AB^2</math>  <math>(\cos AB = AD)</math></p> <p><math>AB^2 \times \frac{3AE \times AD}{2}</math></p> <p><math>2AB^2 &gt; 3AE \times AD</math></p> <p><math>2AB^2 &gt; 3(AB - EB) \times AD</math></p> <p><math>2AB^2 &gt; 3(AB - 6) \times x</math></p> <p><math>2AB^2 &gt; 3(AB - 18) \times AD</math></p> <p><math>2AB^2 &gt; 3AB \times AD - 18 \times AD</math></p> <p><math>2AB^2 &gt; 3x^2 - 18x</math></p> <p><math>2AB^2 &gt; \frac{3x^2 - 18x}{2}</math></p> <p><math>-AB^2 &gt; \frac{3x^2 - 6x}{2}</math></p> <p><math>AB^2 &gt; -3x</math></p>	<p>Problème 2:</p> <p>d. <math>R(t) = -5t^2 + 400t</math>  <math>= -5(920)^2 + 400 \times 920</math>  <math>= -5 \times 846400 + 368000</math>  <math>= -4232000 + 368000</math>  <math>= -3864000</math></p> <p>a. <math>t = 0 \rightarrow</math>  à l'instant <math>t = 96 \rightarrow</math></p> <p>1. a. on a <math>-5t^2 + 400t = 0</math>  <math>t(-5t + 400) = 0</math>  <math>t = 0</math> ou <math>-5t + 400 = 0</math>  <math>t = 0</math> ou <math>-5t = -400</math>  <math>t = \frac{-400}{-5}</math>  <math>t = 80 \rightarrow</math></p>
<p>Brouillon ci-dessous</p> <p><math>AB^2 &gt; 3AE \times AD</math>  <math>AB^2 &gt; \frac{3(6-x) \times x}{2}</math>  <math>3 \times 3 \times x</math></p> <p><math>2AB^2 &gt; 3AE \times AD</math></p> <p><math>AE = AB - EB</math></p>  <p>Surface <math>ABCD = x \times x = x^2</math></p> <p>la surface <math>AED = \frac{1}{2} AD \times AE \times 3</math></p> <p><math>S. ABCD = x \times x = AD \times AB = x \times (AE + EB) = x \times (6 + x) = 6x + x^2</math></p> <p><math>2AB^2 = 2x^2 = 2(6x + x^2) = 12x + 2x^2</math></p> <p><math>2AB^2 &gt; 3AE \times AD = 3 \times 6 \times x = 18x</math></p> <p><math>12x + 2x^2 &gt; 18x</math></p> <p><math>2x^2 &gt; 6x</math></p> <p><math>x &gt; 3</math></p>	<p>2. la période pendant laquelle l'altitude du projectile est</p> <p><math>-5t^2 + 400t &gt; 920</math>  <math>-5t^2 + 400t - 920 &gt; 0</math></p> <p><math>\Delta = b^2 - 4ac = 400^2 - 4(-5)(-920) = 160000 - 18400 = 141600</math></p> <p><math>t_1 = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a} = \frac{-400 + 376}{-10} = \frac{-24}{-10} = 2.4</math></p> <p><math>t_2 = \frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a} = \frac{-400 - 376}{-10} = \frac{-776}{-10} = 77.6</math></p> <p>Brouillon ci-dessous</p> <p><math>(3) x = V_x \times t</math>  <math>= -5t^2 + 400t</math>  <math>= -5t^2 + 400t</math>  <math>= -5t^2 + 400t</math>  <math>= 96t</math></p> 

Cet élève est parvenu à une interprétation correcte du problème, il a bien suivi la consigne, mais son travail de résolution, non accompli, ne lui permet pas de réaliser des gains au niveau des stratégies métacognitives. En effet, de par les conceptions de cet élève, il préfère utiliser toujours les mêmes méthodes déjà vues, ceci après avoir construit un plan et organiser les idées à traiter. D'autre part son brouillon présente qu'il n'a pas choisi la bonne stratégie pour résoudre l'inéquation ; trop de calculs abusifs qui perdent le but.

Il déclare aussi qu'il trouve de vraies difficultés de prendre en compte les objectifs de la tâche avant la résolution du problème et d'anticiper le résultat. Dans le problème 2, cet élève à amorcer sa résolution par une stratégie articulant le registre graphique et le registre algébrique.

Illustrations des exemples de production pour chaque catégorie d'élèves : Pour la catégorie 4 (G4)

Figure 9 : Production de l'élève N°1.

Problème 1	Problème 2								
<p><u>Problème 1 :</u></p> <p>On a : ABCD un carré donc : <math>S_1 = AB \times AD</math> <math>= AB^2</math> (car <math>AB = AD</math>)</p> <p>On a : <math>E \in [AB]</math> tel que <math>EB = 6</math> alors : AED est un triangle. donc : <math>S_2 = \frac{AE \times AD}{2}</math></p> <p>Pour que l'aire du carré soit strictement supérieure au triple l'aire du triangle AED :</p> <p>il faut que : <math>S_1 &gt; 3S_2</math>  <math>AB^2 &gt; 3 \times AE \times AD</math>  <math>2AB^2 &gt; 3 \times AE \times AD</math>  <math>2AB^2 &gt; 3 \times (AB - EB) \times AB</math>  <math>2AB &gt; 3AB - 3EB</math>  <math>2AB &gt; 3AB - 3 \times 6</math>  <math>-AB &gt; -3 \times 6</math>  <math>AB &lt; 3 \times 6</math>  <math>AB &lt; 18</math></p> <p>Donc : <math>6 &lt; x &lt; 18</math></p> <p>À travers les différentes stratégies développées dans la production de cet élève ainsi que son 'brouillon' ci-dessous, on constate qu'il a été conscient des caractéristiques du type de solution qu'il doit produire (type de tâche dans la métaconnaissance). En effet, dans son raisonnement géométrique, il ne travaille qu'avec les quantités positives (longueurs).</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p><math>S_1 = AB^2</math> (carré)  <math>S_2 = \frac{AE \times AD}{2}</math> (triangle)</p> <p><math>AB^2 &gt; 3 \times AE \times AD</math>  <math>2AB^2 &gt; 3 \times AE \times AD</math>  <math>2AB^2 &gt; 3 \times (AB - EB) \times AB</math>  <math>2AB &gt; 3AB - 3EB</math>  <math>-AB &gt; -3EB</math>  <math>AB &lt; 3EB</math>  <math>AB &lt; 3 \times 6</math>  <math>AB &lt; 18</math></p>	<p><u>Problème 2 :</u></p> <p>a - on a : <math>-5t^2 + 100t = 0</math>  <math>t(-5t + 100) = 0</math>  <math>t = 0</math> ou <math>-5t + 100 = 0</math>  <math>-5t = -100</math>  <math>t = \frac{100}{5}</math>  <math>t = 20</math></p> <p>b - <math>-5t^2 + 100t &gt; 320</math>  <math>-5t^2 + 100t - 320 &gt; 0</math>  <math>D = b^2 - 4ac</math> avec : <math>a = -5</math>  <math>D = (100)^2 - 4 \times (-5) \times (-320)</math> <math>b = 100</math>  <math>D = 3600</math> <math>c = -320</math></p> <p>donc : <math>t_1 = \frac{-b + \sqrt{D}}{2a}</math> et <math>t_2 = \frac{-b - \sqrt{D}}{2a}</math>  <math>= \frac{-100 + \sqrt{3600}}{2 \times -5}</math> <math>= \frac{-100 + 60}{-10}</math>  <math>= 4</math> <math>= \frac{-100 - 60}{-10}</math>  <math>= 16</math></p> <p>Donc :</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">1</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">4</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">16</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">100</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">+</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td></td> </tr> </table> <p>À partir de son 'brouillon' ci-dessous, l'élève tente de faire le lien entre le registre graphique et le registre algébrique. C'est-à-dire que cet élève a de bonnes stratégies de métaconnaissances.</p> <div style="text-align: center;">  </div>	1	4	16	100	-	+	-	
1	4	16	100						
-	+	-							

En articulant les représentations de l'élève N°1 avec sa production, nous enregistrons que, lorsqu'il s'agit de résoudre un problème, il ne le fait qu'après avoir réfléchi sur la consigne et il ne commence pas la résolution, effectivement, qu'après avoir un objectif précis à l'esprit. Il ajoute que sa production n'est pas influencée par la nature et le type de tâches. Cette conception de l'élève favorise davantage le développement des stratégies de métaconnaissances.

Par ailleurs, la difficulté majeure discernée par cet élève s'inscrit dans le défaut d'estimer et d'anticiper le résultat du problème avant la résolution complète. Il s'agit ici, d'une nécessité d'approfondissement dans les stratégies d'autorégulation.

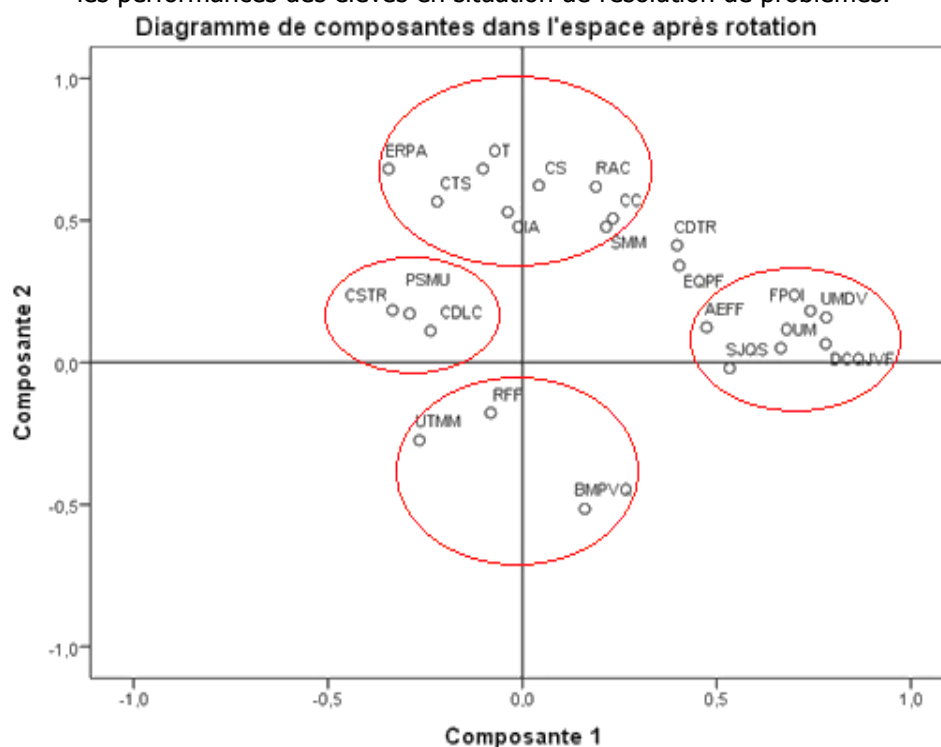
**5.2.4. Mesure des niveaux de métacognition et performance des élèves :** Nous choisissons l'analyse factorielle en composantes principales, puisqu'elle permet d'expliquer une grande partie de la variance avec un minimum de facteurs. Nous devons ensuite choisir le nombre de facteurs à extraire. Pour ce faire, nous analysons le tableau de la

variance totale expliquée. En regardant la deuxième colonne, nous constatons que 8 facteurs (ou composantes) ont une valeur propre plus élevée que 1, nous les conservons donc pour l'analyse. Le premier facteur explique à lui seul 18,82 % de la variance totale des 8 variables de l'analyse. Mis en commun, les trois facteurs permettent d'expliquer 85,13 % de la variance.

Nous désirons toutefois être certains de bien choisir le bon nombre de facteurs à extraire. Nous partons donc du graphique des valeurs propres et examinons où se situe la rupture du coude de Cattell. Nous voyons un changement après les 8 facteurs. Nous ne retenons donc que 2 facteurs pour l'analyse, puisque ce critère est plus rigoureux que celui des valeurs propres. Nous voulons maintenant déterminer la combinaison de variables qui est la plus associée à chacun des facteurs significatifs.

Des analyses factorielles itératives (Analyse en composante principale avec rotation Varimax, la rotation a convergé en 3 itérations) nous ont amené à retenir une solution factorielle contenant deux facteurs qui expliquent 33,25% de la variance (tableau 9 en annexe 2). Ces deux dimensions présentent une bonne consistance interne (0,64 et 0,63 respectivement).

**Figure 10 :** Carte factorielle témoignant les niveaux de métacognition et les performances des élèves en situation de résolution de problèmes.



Le premier axe factoriel évalue les niveaux de métacognition exercée par les élèves en situation de résolution de problèmes. Nous voyons que les notions de modèle et stratégies reviennent dans les six premiers items et composent deux blocs. Nous pourrions nommer le premier bloc : les stratégies d'autorégulations cognitives et le second bloc est celui des stratégies de métaconnaissances :

Dans le premier bloc, les modalités charnières dans le processus de résolution de problèmes, qui décrivent les stratégies d'autorégulation, s'articulent autour de la stratégie d'utiliser un modèle ou une méthode déjà vue pour identifier les points à développer. Au début de la résolution, les élèves interrogés estiment prévoir un plan en organisant les idées à traiter. Pendant la résolution, ils considèrent que dire à haute voix ou mentalement ce qu'on doit faire, favorise effectivement le dialogue avec soi-même. Ensuite, en utilisant les critères d'autoévaluations, analyser l'efficacité de la façon de faire pendant la résolution du problème et évaluer la qualité de la production uniquement après avoir fini la résolution ; contribueront de façon significative à la construction des stratégies d'autorégulation. À l'issue des analyses factorielles, il nous a semblé que les items regroupés dans cette catégorie renvoient à la stratégie de planification qui participe à l'autorégulation de la résolution de problèmes (2 items) et aux stratégies d'évaluation et de régulation (1 item).

Le second bloc de l'autre catégorie met en valeur des métaconnaissances relatives à la stratégie (2 items). Il s'agit d'être un bon juge de la qualité de solution escomptée et lorsqu'il y aura eu l'occasion d'utiliser une méthode durant la résolution du problème, il devrait le faire avec un objectif précis à l'esprit.

Au regard des résultats portés par cet axe factoriel, les élèves ne sont pas habitués à déterminer le but du problème a priori, ils ne peuvent pas établir le but avant de commencer la lecture de la consigne (la question). Et ils n'arrivent pas à sélectionner les connaissances nécessaires qui leur permettent d'avoir de façon spontanée une liste de savoir mathématique à utiliser pour aborder le problème ; faute d'enregistrement et de comportement. Dans le même sens, ces élèves ne prennent pas conscience des difficultés du type de résultat à l'avance. Ils peuvent le faire seulement quand ils sont en train de résoudre un problème.

Le deuxième axe factoriel évalue les performances des élèves en situation de résolution de problèmes. Il montre que ces performances sont influencées par les caractéristiques de la tâche (avec 2 items) qui vise les difficultés, la familiarité et le type de traitement exigé par cette tâche. Cette catégorie explicative de la tâche, selon les représentations des élèves interrogés, permet de déterminer les caractéristiques du type de solution qu'on doit produire, prendre conscience des difficultés du type de résultat seulement quand on est en train de résoudre un problème. Ensuite, rédiger une solution d'une tâche donnée à partir d'une réflexion sur la combinaison de deux ou plusieurs connaissances mathématiques. Tandis que la dimension personnelle (1 item) est mise en exergue par les participants, à savoir organiser les informations que l'élève dispose avant de résoudre le problème.

Un dernier item sur la stratégie qui influence les performances en résolution de problèmes, il s'agit d'utiliser toujours les mêmes méthodes, quel que soit l'objectif du travail demandé. Cette catégorie est accompagnée par des stratégies d'autorégulation (3items) qui touchent principalement la prévention d'un plan dans la dimension de planification où l'élève doit réfléchir à ce qu'il sera nécessaire de faire avant de commencer la résolution. Ensuite, l'enregistrement du comportement qui vise avoir estimé le résultat du problème avant la résolution complète du problème et enfin, avoir une attitude de se détacher de la structure du contexte ; en situation de résolution de problèmes, le contexte où l'élève se trouve est secondaire.

En opposition, trois items bien représentés dans la carte factorielle contribuent de façon négative à la construction de l'axe factoriel qui explique les performances des élèves en situation de résolution de problèmes. Ces performances sont estimées, selon les conceptions des élèves interrogés, par les composantes de la catégorie métaconnaissances. Dans la dimension personnelle des métaconnaissances, les élèves interrogés ont eu du mal à reconnaître leurs forces et leurs faiblesses dans le domaine de résolution de problèmes. De point de vue de stratégies, ils utilisent toujours les mêmes méthodes, quel que soit l'objectif de leur travail. Ils ne suivent pas généralement un modèle précis et ils se basent exclusivement sur leur point de vue quant à la qualité de leurs résultats.

**5.2.5. Représentations des élèves interrogés :** Dans le but de discerner davantage la façon dont les élèves y prennent pour résoudre un problème, que ce soit en classe ou à domicile dans le cadre de leurs études et pour collecter plus de renseignements, nous leur avons demandé de proposer d'autres commentaires qui correspondent principalement à leurs habitudes, surtout quand ils sont en train d'entreprendre une résolution de problèmes.

Les résultats ressortis sont catégorisés en trois principales classes, à savoir : les connaissances sur la personne, la tâche et les stratégies d'autorégulation cognitives. Les connaissances relatives aux personnes peuvent porter sur soi-même, sur d'autres personnes ou peuvent être des connaissances universelles. Les connaissances relatives aux tâches portent sur la difficulté, la familiarité et le type de traitement exigé par la tâche. Les commentaires des élèves englobent la modalité charnière qui stipule qu'un problème mathématique est plus compréhensible quand une structure claire est présente ou lorsqu'il s'agit de résoudre un problème, il est plus facile quand on me fournit toutes les données nécessaires que quand je dois les chercher moi-même. Les connaissances sur les stratégies d'autorégulation concernent la nature et l'utilité de chaque stratégie en tant que moyen de réaliser un but.

Les connaissances métacognitives sont inter reliées ; dire que les élèves sont meilleurs en résolution des équations 'par exemple' correspond à une interaction entre les connaissances métacognitives relative à leurs propres personnes et aux caractéristiques des tâches.

Les enseignements sollicités à partir des propos des élèves s'articulent pour favoriser le développement des stratégies des métaconnaissances (personnelles, sur la tâche et sur les stratégies). Ainsi, la démarche de résolution des problèmes implique fortement les élèves qui veulent s'investir même s'ils trouvent plus de difficultés à cause de l'habitude. L'analyse des propos des élèves pendant qu'ils résolvaient les deux problèmes, les prises de notes effectuées par l'enseignant grâce à des questions-réponses au moment et après la résolution et les productions des élèves ainsi que les traces « brouillons » qu'ils ont fait ; permettent ensemble de faire émerger une liste de difficultés qui sont apparues dans le processus de résolution des deux problèmes. Le tableau 5 ci-dessous synthétise ces difficultés rencontrées.

**Tableau 5 :** Les difficultés rencontrées par les élèves en lien avec les composantes métacognitives.

Composante	Définition générale de la difficulté	Illustration « les propos des élèves »	Fr <sup>1</sup>	
métaconnaissances	Personnelle	<p>Difficulté de comprendre le problème</p> <p>l'élève se met en colère (ou presque) exprime son angoisse son malaise face au problème et déclare qu'il n'y arrive pas</p>	<p>2 : J'ai un problème de faire un schéma sans données pour résoudre les problèmes.</p> <p>20 : Je me démotive rapidement si je ne trouve aucun chemin par lequel passer. Je n'arrive pas à juger mon niveau et mes connaissances en mathématiques ».</p> <p>3 : Je ne suis pas à l'aise quand je résous les problèmes.</p> <p>5 : Je me stresse avec ce genre de problème à cause d'inhabitude</p> <p>7 : après cette expérience je sais que je n'ai aucun stockage en mathématiques</p> <p>9 : C'est la première fois quand je fais une résolution de problèmes, mais je l'ai très aimé.</p> <p>10 : Je perds du temps à se rappeler les connaissances mathématiques et les exploiter comme il faut.</p>	11
	Tâche	La représentation erronée de la tâche élaborée par les élèves.	<p>2 : J'ai un problème de faire un schéma sans donnée pour résoudre les problèmes.</p> <p>3 : Je ne suis pas à l'aise quand je résous les problèmes.</p> <p>5 : Je me stresse dans ce genre de problème à cause d'inhabitude. Je ne sais pas bien le chemin à prendre même si je connais la démarche et le type de solutions. Bonne initiative Professeur. Merci.</p> <p>6 : le problème est très difficile vu que nous n'étudions pas comme ces problèmes-là.</p> <p>13 : J'ai oublié les étapes pour résoudre les problèmes.</p> <p>17 : Je veux comme ces problèmes chaque semaine pour bien s'entraîner.</p>	6
	Stratégies	L'élève met en relation de façon inadéquate les données du problème. Problème de choisir les procédures appropriées	<p>20 : Je me démotive rapidement si je ne trouve aucun chemin par lequel passer. Je n'arrive pas à juger mon niveau et mes connaissances en mathématiques</p> <p>5 : Je ne sais pas bien le chemin à prendre même si je connais la démarche et le type de solutions.</p> <p>8 : je ne sais pas que les méthodes ne sont pas exactes. J'ai eu une expérience</p> <p>10 : Je perds du temps à se rappeler les connaissances mathématiques et les exploiter comme il faut.</p> <p>11 : Il arrive que tu connaites la méthode, mais en résolvant le problème tu trouves que tu ignores une façon qui va t'aider à arriver à la résolution exacte.</p>	7
Autorégulation cognitive	Planification	L'élève n'arrive pas à structurer sa démarche de résolution. Construction d'une représentation inadéquate du Pb.	<p>19 : premièrement, j'ai organisé mes données, puis j'ai pensé à la méthode qu'il faut suivre et j'ai utilisé mes anciennes informations.</p> <p>11 : Il arrive que tu connaites la méthode mais en résolvant le problème tu trouves que tu ignores une façon qui va t'aider à arriver à la résolution exacte.</p> <p>16 : Est-ce que je trouve le temps d'organiser mes informations.</p> <p>2 : J'ai un problème de faire un schéma sans données pour résoudre les problèmes.</p> <p>13 : J'ai oublié les étapes pour résoudre les problèmes.</p>	5
	Contrôle	Manque de vérification Insuffisance dans les techniques de calcul algébriques Manque d'une démarche réfléchie de RP.	<p>8 : je ne sais pas que les méthodes ne sont pas exacte. J'ai eu une expérience.</p> <p>11 : Il arrive que tu connaites la méthode mais en résolvant le problème tu trouves que tu ignores une façon qui va t'aider à arriver à la résolution exacte.</p> <p>5 : Je ne sais pas bien le chemin à prendre même si je connais la démarche et le type de solutions.</p>	3

**Auto-évaluation**

Évaluation des résultats (vérifiée en fin de résolution la plausibilité ou la pertinence de la solution proposée)	<i>13 : J'ai oublié les étapes pour résoudre les problèmes.</i> <i>11 : Il arrive que tu connaisses la méthode, mais en résolvant le problème tu trouves que tu ignores une façon qui va t'aider à arriver à la résolution exacte.</i> <i>8 : je ne sais pas que les méthodes ne sont pas exactes. J'ai eu une expérience</i>	<b>3</b>
---	---	----------

En effet, les élèves sont confrontés aux difficultés relatives aux stratégies des métacognitions qui stipulent une somme de fréquence d'apparition de 24, répartis selon, les trois composantes (personnelles avec une fréquence de 11, tâche 6 et les stratégies 7). La difficulté majeure exprimée par les élèves interrogés est la compréhension du problème, elle se traduit par une interprétation correcte de ce problème. Cette difficulté apparaît de façon visible dans les deux problèmes ; vu que presque la majorité des élèves se trouvent incapables de choisir les ressources pertinentes à mobiliser pour les résoudre. De plus, les productions des élèves proposées par nombreux d'entre eux ne prennent pas en considération de façon adéquate les données du problème et de choisir les procédures appropriées.

Toutefois, les élèves interrogés se montrent incapables d'imaginer un schéma du problème, ils se mettent en colère grâce à ce genre de problème qui sort de leurs habitudes. Cette représentation erronée du problème apparaît bien dans leurs productions.

Par ailleurs, les stratégies d'autorégulations cognitives (avec une somme des fréquences de 11 entre les trois stratégies d'autorégulation : planification, contrôle et autoévaluation), faute d'organiser les données, de faire un schéma du problème, d'oublier les étapes de résolution des problèmes, imaginer la façon de faire a priori empêchent les élèves à construire une représentation adéquate du problème. Cette difficulté à planifier adéquatement les séquences de procédures à exécuter, rejoint effectivement la constatation que certains élèves mettent en relation des données qui ne devraient pas l'être, en particulier dans le problème 2 ; lorsqu'il s'agit de structurer sa démarche de résolution.

## 6. CONCLUSION

À travers cette recherche, nous avons tenté de repérer l'influence des dimensions métacognitives sur la réussite des élèves du secondaire. Nous avons mesuré, d'une part, les niveaux de métacognitions et de stratégies de régulation cognitive déclarées par les élèves et, d'autre part, leurs performances en situation de résolution de problèmes.

En ce sens, nous pouvons affirmer que les élèves du groupe à score fort dans la résolution du deuxième problème montrent plus de stratégies métacognitives que dans la résolution du premier problème. Par contre, les élèves du groupe à faible score dans la résolution du premier problème n'ont pas explicité de stratégies métacognitives dans la résolution du deuxième problème ; étant donné qu'ils n'en prennent pas en considération lors de la résolution.

Nous avons montré aussi, qu'à partir d'une concordance explicite entre les critères de performances respectées et les composantes de métacognitions, nous avons pu parvenir à exhiber comment les métacognitions et les stratégies de régulation pourraient intervenir dans la résolution des deux problèmes et que leurs absences pourraient emporter des obstacles de résolution.

Cette étude montre qu'il est possible d'améliorer le comportement métacognitif des élèves en situation de résolution de problèmes. Pour ce faire, il est primordial de favoriser chez eux une réflexion métacognitive sur l'importance des stratégies utilisées. Nous avons vu que certaines stratégies sont connues par les élèves, pourtant ils ne les appliquent pas régulièrement ou pas d'une manière efficace. Cela est dû au manque de connaissances métacognitives (les métacognitions). En effet, les élèves ne sont pas habitués à déterminer le but du problème a priori ; ils ne peuvent pas fixer le but avant de commencer la réponse à la consigne (la question). Et ils n'arrivent pas à sélectionner, les connaissances nécessaires qui leur permettent d'avoir de façon spontanée, une liste de savoir mathématique à utiliser pour aborder le problème ; faute d'enregistrement et de comportement. Dans le même sens, ces élèves ne prennent pas conscience des difficultés du type de résultat à l'avance. Ils peuvent le faire seulement quand ils sont en train de résoudre un problème. Dans le même sens, les élèves interrogés ont eu du mal à reconnaître leurs forces et leurs faiblesses dans le domaine de résolution de problèmes. Ils utilisent toujours les mêmes méthodes, quel que soit l'objectif de leur travail. Ils ne suivent pas généralement un modèle précis et ils se basent exclusivement sur leur point de vue quant à la qualité de leurs résultats. Les bénéfices tirés des métacognitions ont pu relever de leur contribution à la prise de conscience des élèves relatives à la composante stratégique ; ces élèves apprécient d'être un bon juge de la qualité de solution escomptée et lorsqu'ils y auront eu l'occasion d'utiliser une méthode durant la résolution du problème, ils devraient le faire avec un objectif précis à l'esprit.

Nous constatons dans cette étude que les stratégies d'autorégulation s'articulent autour de la stratégie d'utiliser un modèle ou une méthode déjà vue pour identifier les points à développer. Ce qui nous amène à affirmer qu'au début de la résolution, les élèves interrogés estiment prévoir un plan en organisant les idées à traiter. Pendant la résolution, ils considèrent que dire à haute voix ou mentalement ce qu'on doit faire, favorise effectivement le dialogue avec soi-même. Ensuite, en utilisant les critères d'autoévaluations, analyser l'efficacité de la façon de faire pendant la résolution du problème et évaluer la qualité de la production uniquement après avoir fini la résolution ; contribueront de façon significative à la construction des stratégies d'autorégulation. Il nous a semblé prédire que la stratégie de planification participe effectivement à l'autorégulation de la résolution de problèmes et aux stratégies d'évaluation et de régulation. Les productions des élèves proposées par un nombre d'entre eux ne prennent pas en considération de façon adéquate les données du problème et de choisir les procédures appropriées. Ces élèves interrogés se montrent incapables d'imaginer un schéma du problème et ils se mettent en colère grâce à ce genre de problème qui sort de leurs habitudes. Cette représentation erronée apparaît bien dans leurs productions et stipule les difficultés relatives aux stratégies de métaconnaissances.

Par ailleurs, les stratégies d'autorégulations cognitives, faute d'organiser les données, de faire un schéma du problème, d'oublier les étapes de résolution, d'imaginer la façon de faire a priori, empêchent les élèves à construire une représentation adéquate du problème. Cette difficulté de planifier adéquatement les séquences de procédures à exécuter, rejoint effectivement la constatation que certains élèves mettent en relation des données qui ne devraient pas l'être, en particulier dans le deuxième problème ; lorsqu'il s'agit de structurer sa démarche de résolution.

## 7. REFERENCES

1. Legrand, M. Circuit ou les règles du débat mathématique, in Enseigner les mathématiques autrement en DEUG A première année. Commission inter IREM. Université, Lyon. 1991.
2. Dorier, J.L. Illustrer l'aspect unificateur et simplificateur de l'algèbre linéaire, Cahier de Didirem n°14, IREM PVII, Paris. 1992.
3. Robert, A. Prise en compte méta en didactique des mathématiques. Cahier de DIDIREM, 21, IREM de Paris 7. 1993.
4. Rogalski, M. Un enseignement d'algèbre linéaire en DEUG A première année. Cahier didirem, 11. IREM de Paris. 1991.
5. Artigue, M. Connaissances et métaconnaissances -une perspective didactique. Dans M. Baron, A. et Robert, A. (Dir.), Métaconnaissances en IA, en EIAO et en didactique des mathématiques. Cahier de didirem, IREM, Paris. 1993. (p.29-54).
6. Pressley, M., & Levin, J. R. Elaborative learning strategies for the inefficient learner. In S.J. Ceci (Ed.), Handbook of cognitive, social, and neuropsychological aspects of learning disabilities (Vol. 2, pp. 175-212). Hillsdale, NJ : Erlbaum.publishing corporation. 1987.
7. Flavell, J.H. Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive developmental inquiry. In T. Nelson (Ed.), Metacognition: Corereadings, 1992. (pp. 39).
8. Noel, B. La métacognition. Bruxelles : De Boeck. 1991.
9. Flavell, J. H. Metacognition and cognitive monitoring. *American Psychologists*. 1979; 34: 906-911.
10. Brown. Metacognition, executive control, self-regulation, and other more mysterious mechanisms. In Weinert, F. E. & Kulwe, R. H. (Eds.), Metacognition, motivation and understanding, (pp. 65-116). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum. 1987.
11. Pinard, A. Métaconscience et métacognition. *Canadian Psychology/Psychologie canadienne*. 1992 ; 33(1), 27-39.
12. Garner, R. Metacognition and reading comprehension. Norwood, NJ: Ablex, 1987.
13. Ferrari, M., Bouffard, T., & Rainville, L. What makes a good writer ? Differences in good and poor writers' self-regulation of writing. *Instructional science*. 1998; 26(6), 473-488.
14. Victori, M. An analysis of writing knowledge in EFL composing: A case study of two effective and two less effective writers. *System*. 1999; 27: 537-555.
15. Pintrich, P.R. The role of motivation in promoting and sustaining self-regulated learning. *International journal of educational research*. 1999; 31: 459-470.
16. Allal, L., & Saada- Robert, M. La métacognition : cadre conceptuel pour l'étude des régulations en situation scolaire. *Archives de Psychologie*. 1992 ; 60 : 265-296.
17. Zimmerman, B. J., & Risemberg, R. Becoming a self-regulated writer: A social cognitive perspective. *Contemporary educational psychology*. 1997 ; 22 : 73-101.
18. ZIMMERMAN, B. J., BONNER, S., & KOVACH, R. Des apprenants autonomes : Autorégulation des apprentissages. Bruxelles : De Boeck. 2000.
19. BOUFFARD, T. Système de soi et métacognition. Dans L. Lafortune, P. Mongeau et R. Pallascio (Eds), métacognition et compétences réflexives, 1998. (pp. 203-222). Montréal : Logiques.
20. Gavelek, J.R., Raphael, T.E. Metacognition and the role of questioning activities. Metacognition, cognition and Human performance. 1985. Vol.2 Eds. Forrest-Presley, Academic Press.
21. Flavell, J.H. Speculations about the nature and development of metacognition. In F. Weinert, & R. Kluwe (Eds.), Metacognition, motivation and understanding, 1987. (pp. 21-29). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
22. Escorcia, D. & Fenouillet, F. Quel rôle de la métacognition dans les performances en écriture ? *Revue canadienne de l'éducation*. 2011 ; (34)2 : 53-76.
23. Zimmerman, B. J., Martinez, P. Pursuing academic self-regulation : a 20 years methodological quest. In EE Jessie, CHANG Agnes, TAN O on-Seng (dir), Thinking about the thinking : what educators need to know, Singapore: McGraw-Hill, 2004. 352.
24. Abouhanifa, S. Construction des séquences d'apprentissage des mathématiques au collège. Arrimages entre apprentissage des ressources et intégration des acquis. *Petit x*. 2012 ; 89 : 59-77.
25. Bonniol, J.J. Influence de l'explicitation des critères utilisés sur le fonctionnement des mécanismes de l'évaluation d'une production scolaire. *In Bulletin de Psychologie*. 1985 ; (XXXV)353 : 173-186.
26. Grangeat, M. Régulation métacognitive, transfert de connaissances et autonomisation. *Educations*. 1998 ; 15 :37-40.
27. Noel, B. L'autoévaluation comme composante de la métacognition : essai d'opérationnalisation, in Figari, G., Achouche, M. L'activité évaluative réinterrogée. Regards scolaires et socioprofessionnels, Bruxelles : De Boeck Université, 2001. p. 109-117.
28. Allal, L. La métacognition en perspective, in Figari, G., Achouche, M. L'activité évaluative réinterrogée. Regards scolaires et socioprofessionnels, Bruxelles : De Boeck Université, 2001. p. 142-145.
29. De Ketele, J.-M., L'évaluation des acquis scolaires : quoi ? Pourquoi ? Pour quoi ? *Revue Tunisienne des Sciences de l'Éducation*. 1996 ; 23 : 17-36.

### ANNEXES 1 :

Nous souhaitons connaître la façon dont vous vous y prenez pour résoudre un problème non routinier que ce soit en classe ou à domicile dans le cadre de vos études. Lisez attentivement les propositions ci-dessous et cochez un chiffre de 1 à 4 selon la réponse qui correspond le mieux à vos habitudes quand vous entreprenez une résolution de problème. Suivez l'échelle suivante :

1 : jamais    2 : rarement    3 : fréquemment    4 : tout le temps.

Quand je dois résoudre un problème nouveau en mathématique...

	1	2	3	4
1. Je sais organiser les informations dont je dispose avant de résoudre le problème	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2. J'ai du mal à reconnaître mes forces et faiblesses dans le domaine de résolution de problème	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3. Je sais me motiver pour résoudre le problème	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4. Je suis un bon juge de la qualité de ma solution	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5. Lorsque j'utilise une méthode durant la résolution du problème, j'ai un objectif précis à l'esprit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6. Quel que soit l'objectif de mon travail, j'utilise toujours les mêmes méthodes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7. Avant de commencer, je connais la structure du type de résultat à produire	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8. Je sais quelles sont les caractéristiques du type de solution que je dois produire	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9. Je prends conscience des difficultés du type de résultat seulement quand je suis en train de résoudre un problème	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10. Je prends en compte les objectifs de la tâche avant la résolution du problème	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11. Je commence à résoudre le problème dès que j'ai lu la consigne (question)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12. Je réfléchis à ce qui sera nécessaire de faire avant de commencer la résolution	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
13. Au début, je fais un plan en organisant les idées à traiter	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
14. Je fais d'abord une liste de savoir mathématique à utiliser pour aborder le problème	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
15. J'estime le résultat du problème avant la résolution	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
16. J'utilise un modèle ou une méthode déjà vu pour identifier les points à développer	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
17. Je me base exclusivement sur mon point de vue quant à la qualité de mon résultat	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
18. Quand je suis en situation de résolution de problème, le contexte où je suis est secondaire	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
19. Pendant la résolution, je me dis à haute voix ou mentalement ce que je vais faire	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
20. J'analyse l'efficacité de mes façons de faire pendant que je résous le problème	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
21. J'évalue la qualité de ma production uniquement après avoir fini la résolution	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
22. Je rédige une solution d'une tâche donnée à partir d'une réflexion sur la combinaison de deux ou plusieurs connaissances mathématiques	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

jamais (1), rarement (2), fréquemment (3), tout le temps (4).

#### 23. Autres commentaires

### Annexe 2 :

**Tableau 6 :** Moyenne des scores des élèves par catégorie.

Groupe	Catégorie de note	nombre d'élèves	Moyenne/20	Codes des élèves
G1	[0, 5[	8	3,79	7-6-11-8-16-17-19-14
G2	[5, 10[	7	7,24	4- 12-10- 2- 9-13-18
G3	[10, 15[	4	12,46	15 - 20 - 5 - 3
G4	[15, 20]	1	18,5	1

**Tableau 7 :** Matrice de corrélation

	Métaconnaissances	Autorégulation	Métacognition	Performance RP 1	Performance RP 2	Performance globale
Métaconnaissances	1,000	,970	,997	-,477	-,670	-,595
Autorégulation	,970	1,000	,987	-,256	-,507	-,401
Métacognition	,997	,987	1,000	-,403	-,613	-,529
Performance RP 1	-,477	-,256	-,403	1,000	,913	,974
Performance RP 2	-,670	-,507	-,613	,913	1,000	,982
Performance globale	-,595	-,401	-,529	,974	,982	1,000

**Tableau 8 : Matrice des composantes**

**Matrice des composantes après rotation<sup>a</sup>**

	Composante	
	1	2
Autorégulation	,990	-,136
Métacognition	,959	-,279
Métaconnaissances	,933	-,356
Performance RP 1	-,129	,980
Performance global	-,272	,962
Performance RP 2	-,380	,909

Méthode d'extraction : Analyse en composantes principales.  
Méthode de rotation : Varimax avec normalisation de Kaiser.

a. La rotation a convergé en 3 itérations.

**Tableau 9 : Méthode d'extraction : Analyse en composantes principales. Méthode de rotation : Varimax avec normalisation de Kaiser. La rotation a convergé en 3 itérations.**

Matrice des composantes après rotation<sup>a</sup>

Code	Etiquette du variable	Composante	
		1	2
UMDV	utiliser une méthode déjà vu	,782	,159
DCQJVF	dire ce que je vais faire	,781	,066
FPOI	faire un plan et organiser les idées	,741	,182
OUM	objectif d'utiliser une méthode	,665	,051
SJQS	savoir juger qualité de solution	,533	-,020
AEFF	analyser efficacité de façon de faire	,474	,124
EQPF	évaluer la qualité production à la fin	,404	,341
CSTR	connaître structure du type de résultat	-,334	,184
PSMU	Prévoir savoir mathématique à utiliser	-,290	,172
CDLC	commencer dès la lecture de la consigne	-,236	,111
OT	objectifs de la tâche	-,101	,682
ERPA	estimer le résultat du problème avant	-,344	,681
CS	le contexte est secondaire	,043	,623
RAC	réfléchir avant de commencer	,189	,619
CTS	caractéristiques du type de solution	-,219	,566
OIA	organiser les informations à l'avance	-,037	,530
BMPVQ	baser sur mon point vu quant qualité	,161	-,515
CC	combinaison des connaissances	,234	,507
SMM	savoir me motiver	,216	,477
CDTR	conscience difficultés type résultat	,398	,412
UTMM	utiliser toujours les mêmes méthodes	-,265	-,274
RFF	reconnaître mes forces et faiblesses	-,081	-,177

### Liste d'acronyme :

<b>MTCG</b>	Métacognition
<b>PRP</b>	Performances en résolution de problèmes
<b>ACP</b>	Analyse à composante principale
<b>AUTR</b>	Autorégulation
<b>MTCN</b>	Métaconnaissance

**Citer cet article : Said Abouhanifa. LES STRATEGIES METACOGNITIVES UN APPUI A LA RESOLUTION DE PROBLEMES. Am. J. Innov. Res. Appl. Sci. 2018; 7(1): 01-23.**

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>