# *Prégnance des représentations graphiques liées à la notion de dérivée et leurs conversions chez les apprenants*

***DJABOU Djamel / LIFA Nacer-Eddine***
***Université Bordj Bou Arreridj / Université 2 Constantine***

***Résumé***

*L'article en question présente les résultats d'une étude didactique centrée sur la perception de la notion de dérivée dans le domaine de la physique menée auprès d'un échantillon aléatoire composé de lycéens et d'étudiants du premier cycle universitaire.*
*Notre soubassement théorique s'appuie essentiellement sur les différentes approches liées à la notion de dérivée et ses éléments connexes (vitesse, tangente, taux de variation moyen et instantané) ; notamment celles de Selden (1989), Cornu (1991), Duval (1993), Zandieh (2000) et Tall (2010).*

*Par l'occasion, nous avons tenté également de faire apparaitre les procédures instrumentales mises en œuvre par les apprenants inhérentes aux différentes représentations algébriques, graphiques et numériques.*

*L'analyse des principaux résultats met en évidence la tendance des apprenants à attribuer au concept de dérivée un statut d'outil extrinsèque à travers des représentations liées au champ de la didactique de la physique ; celles-ci révèlent de manière significative l'attachement des apprenants à une dimension visuelle ; dimension prégnante dépassant le simple niveau de confort de compréhension en usage lors de la conversion d'une représentation par une autre.*

***Mots clés :*** *Dérivée,* *didactique, physique, vitesse, tangente, représentation, perception.*

ملخـص:

هذا البحث يعرض نتائج دراسة عن الإدراك لمفهوم المشتق في مجال الفيزياء التي أجريت على عينة عشوائية ضمت تلاميذ مرحلة التعليم الثانوي وطلبة السنة الأولى والثانية جامعي مسترشدة في ذلك من خلال المقاربات المختلفة لهذا ألمفهوم المكونات المرتبطة به (السرعة والظل ونسبة التغير المتوسط واللحظي)، كما حاولنا إبراز الخطوات الأدواتية المعتمدة من طرف المتعلمين المذكورين سابقا والمرتبطة بمختلف الإجراءات الكامنة في التمثيلات: الجبرية، البيانية والعددية.

ويبرز تحليل النتائج الرئيسية للعينات المذعلاه، ميول المتعلمين نحو منح لمفهوم المشتق في مجال تعليمية الفيزياء مكانة لأداة خارجيوذلك من خلال التمثيلات التي أظهرت بعدا مرئيا على نطاق يتجاوز المستوى الأدنى للفهم، نتيجة التحويل من تمثيل إلى آخر.

**الكلمانتاحية:** المشتق، التعليمية، ، السرعة، الظل، التمثيل، التصور والإدراك.

## ➢ INTRODUCTION:

De nombreuses recherches didactiques ont révélé, chez de larges proportions d'apprenants, des difficultés au niveau des représentations au moment de l'utilisation du concept de dérivée mis en jeu dans l'apprentissage de la physique (Cornu, 1991 ; Heid, 1988 ; Orton, 1983 ; Repo, 1994 ; Tall, 2010 ; Zandieh, 2000).

De telles recherches, ayant trait en général à la proposition des idées quant à certains éléments, permettraient une meilleure compréhension.

Vinner (1989), Eisenberg et Dreyfus (1991) quant à eux, expliquent certaines difficultés par la tendance des apprenants à utiliser différents types de représentations autres qu'algébrique et se demandent si cette tendance est un produit de l'enseignement.

Duval (1993) de son coté suggère le recours à différents types de « représentations » avec son approche théorique centrée sur la promotion chez les apprenants d'une articulation entre représentations ; or ce recours à différents types de représentations ne semble pas naturel.

Selden, J. et al. (1989) mettent de l'avant les difficultés des apprenants ayant réussi un cours de dérivée à résoudre des problèmes en physique dont le traitement fait appel à des connexes du concept mis en jeu (tangente, vitesse et taux de variation) vus dans le cours de mathématique.

Partant de cette vision et d'une enquête sur les rapports qu'entretiennent les apprenants avec une utilisation des représentations du concept de dérivée pour mieux cerner les difficultés citées plus haut, l'étude que nous préconisons dans cet article s'inscrit dans cette perspective. Elle concerne l'analyse de la manière dont les apprenants perçoivent les différentes formes d'application du concept de dérivée à travers des représentations d'ordre graphique, algébrique ou numérique.

Nous essayons alors d'apporter à travers la présente étude des éléments de réponse aux questions qui suivent:

- *Comment les apprenants perçoivent-ils l'utilisation des différentes représentations du concept de dérivée qu'ils manipulent en physique ?*
- *Comment convertissent-ils ces représentations ?*

Ces investigations nous permettent de présenter, en guise de repères épistémologiques, des éléments relatifs au concept de dérivée et de ses représentations et de tester notre hypothèse de recherche en vue de répondre aux questions-problèmes posées dans la partie méthodologique.

- **SOUBASSEMENT THÉORIQUE :**

**1. Le Concept de dérivée :**

Comme pour la plupart des concepts mathématiques, le concept de dérivée élaboré dans le champ de la didactique des mathématiques en tant qu'objet, est lui aussi transposable à la didactique de la physique en tant qu'outil explicite au sens de R.Douady (1992) ; ainsi cette dialectique objet/outil va présenter une double visibilité interdisciplinaire d'après les savoirs à enseigner, les manuels scolaires et extrascolaires en mathématiques qui montrent que le concept mis en jeu est appris en tant que tache d'enseignement. Celle-ci est transposée par différentes approches : ***géométrique, cinématique et formelle,*** mais n'est finalement utilisée en physique qu'en tant que "technique didactique" évoquée par différentes représentations : *graphiques- algébriques-numériques*. Les idées précitées, allant du global au local, sont essentielles d'une part pour la maitrise du concept de dérivée et d'autre part parce qu'elles génèrent des difficultés d'apprentissage qui sont également étudiées par (B. Cornu 1983 ; A. Sierpinsky 1985 et C. Castela 1995). À cet effet, nous avons jugé utile d'expliciter ce que véhiculent les savoirs enseignés dans les champs de didactique des mathématiques et de la physique :

- **En mathématique** : Voici ce que préconise le programme officiel d'enseignement issu de la réforme de 1990 concernant le cours de deuxième année des sciences expérimentales (Traduit de l'arabe) :

| Dérivées | | |
|---|---|---|
| **Compétences à atteindre** | **Matières** | **Conseils méthodologiques** |
| -Calculer la dérivée d'une fonction<br>-Interpréter géométriquement, physiquement, la dérivée d'une fonction en un point<br>Lors du calcul d'une dérivée, vérifier la plausibilité du résultat en utilisant les aspects numériques, algébriques et graphiques. | -Nombre dérivé, fonction dérivée<br>-Interprétation géométrique (tangente), cinématique (vitesse), économique (coût marginal),…<br>-Calcul des dérivées Dérivée des fonctions usuelles<br>-Dérivée d'une somme, d'un produit, d'un quotient, dérivée de la composée de deux fonctions | Le nombre dérivé en un point sera défini à partir du taux d'accroissement<br>Par fonction usuelle, il faut entendre fonction constante, fonction identique, racine carrée, puissance à exposant rationnel.<br>Dans les exercices, on s'assurera de la plausibilité des résultats en utilisant par exemple une calculatrice ou un logiciel |

Ce programme nous permet d'identifier deux conceptions différentes : une locale présentant la dérivée de la fonction en un point $(a, f(a))$, l'autre globale renfermant la dérivée en point

$(x, f(x))$ illustrée par ces deux approches :

a. **Une approche cinématique** : Pour représenter le concept de nombre dérivé d'une fonction en un point le programme propose plusieurs démarches:

- passage de la vitesse moyenne à la vitesse instantanée pour des mouvements rectilignes suivant des lois horaires élémentaires (trinôme du second degré dans un premier temps).
- zooms successifs sur une représentation graphique obtenue à l'écran de la calculatrice.

b**. Une approche géométrique** qui sert à représenter la pente d'une sécante par le passage à la limite celle-ci correspondra alors à la dérivée d'une fonction en un point $(x, f(x))$ qui représentera ainsi l'aspect global d'une dérivée d'une fonction qui sera définie par la relation formelle suivante :

$$\lim_{h \to 0} \frac{f(x+h) - f(x)}{h} = f'(x) = \frac{df}{dx}$$

- **<u>En physique</u>** *:* l'analyse du programme des sciences physiques nous informe *que le co*ncept de dérivée n'apparaît que par le passage de la vitesse moyenne à la vitesse instantanée lesdites vitesses sont illustrées en tant que modèle, comme le montre le tableau ci-dessous:

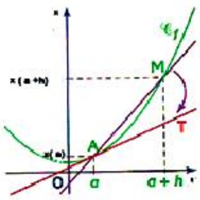
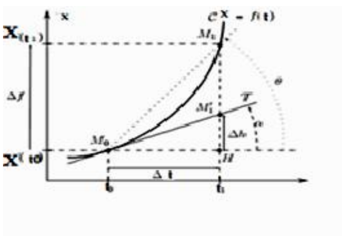
| **outil-modèle** | **Représentant dans les registres** | | |
|---|---|---|---|
| | **Algébrique** | **Graphique** | **Numérique** |
| **Vitesse moyenne** | **Taux de variation moyen** $\frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x(t+\Delta t) -}{t_2 - t_1}$ | La pente de la tangente  | Expressions ou tableaux trouvés ou enregistrés durant des séances de travaux pratiques ou activités existant dans les manuels |
| **Vitesse instantanée** | **Taux de variation instantané** $\lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}$ | $\tan \propto = \Delta x / \Delta t$ représente le coefficient directeur de la tangente T passant par le point $M_0(t_0, f(t_0))$  | Expressions ou tableaux trouvés ou enregistrés durant des séances de travaux pratiques ou activités existant dans les manuels |

**Tableau** : *Représentants d'outils du champ du modèle de dérivée*

**En conclusion**, l'analyse de ces deux transpositions, à savoir la transposition mathématique et celle de la physique, montre que <u>le</u>

passage de la conception globale à la conception locale peut mettre l'apprenant dans une position cruciale qui le pousse à acquérir la notion de dérivée en mathématique en tant qu' "objet" et sa transposition en physique en-tant qu' "outil".

Ces difficultés ne peuvent être élucidées que par l'intermédiaire des outils sémiotiques de Duval et par une interprétation basée sur les *représentations graphiques, algébriques et numériques*.

Après avoir pris connaissance du concept mis en jeu, nous nous attèlerons à présent à montrer le rôle de l'association des représentations et leurs conversions dans des situations physiques selon l'optique de Duval.

## 2. Le rôle des représentations :

Duval signale l'importance des représentations pour rendre accessible la perception des objets mathématiques. Le concept de dérivée fait intervenir une variété très importante de représentations d'ordre graphiques, algébriques et numériques qui ne reflètent pas les mêmes aspects du concept.
En effet l'auteur distingue les représentations sémiotiques comme des productions constituées par des signes (énoncés écrits dans le langage naturel, figures géométriques, formules algébriques) et des représentations mentales, c'est à dire « toutes celles qui permettent une vision d'objet en l'absence de tout signifiant perceptible ».
Un système sémiotique est considéré comme étant le registre sémiotique de représentation lorsque ce système permet les trois activités cognitives suivantes Duval (*pp. 41-42*):

a) *«La formation d'une représentation identifiable comme une représentation d'un registre donné ;*

b) *Le traitement d'une représentation est la transformation de cette représentation dans le registre même où elle a été formée. Le traitement est une transformation interne à un registre ;*

c) *La conversion d'une représentation est la transformation de cette* *représentation en une représentation d'un autre registre, en conservant la totalité ou une partie seulement du contenu de la représentation initiale ».*

Il nous parait utile de faire intervenir dans cet article les registres suivants :

- **le registre algébrique** à travers lequel les élèves auront souvent à expliciter symboliquement leurs représentations.
- **le registre graphique** renfermant un tracé de la tangente d'une courbe, une représentation des fonctions de vitesse et une représentation de l'accélération.
- **le registre numérique** : ici les nombres seront souvent présentés sous forme de tableaux.

Les activités cognitives de Duval vont nous servir de grille d'analyse dans les aspects méthodologiques.

## ➢ ASPECTS MÉTHODOLOGIQUES :

### 1. La Population d'étude

Deux catégories de sujets ont participé à l'enquête (*cf*. tableau) :

a) La première correspond à des élèves de deuxième et de troisième année appartenant à la filière scientifique expérimentale de l'enseignement secondaire (âgés en moyenne entre 16 à 18 ans).

Cette catégorie d'élèves a appris la notion de dérivée dans le cours de mathématique qui était pris en charge par le curriculum, mais son utilisation dans le cours de physique s'identifie par des notions connexes (vitesse, accélération et autres).

L'enseignement des matières scientifiques est assuré dans ce cycle en langue arabe avec usage généralisé des caractères latino-grecs pour l'expression des formalismes utilisés dans ces matières.

b) La seconde catégorie est constituée d'étudiants de première et de deuxième année du tronc commun des sciences et de la matière (cursus préparatoire aux formations d'une licence option" chimie" ou "physique"). Pour ce curriculum et dans le contexte des établissements où les questionnaires ont été réalisés, la langue d'enseignement de la physique est l'arabe, mais l'emploi des caractères latino-grecs pour la symbolisation est de règle.

Afin d'éviter les biais de test, chaque échantillon dont l'effectif varie d'une vingtaine à une centaine de sujets, n'est sollicité pour répondre qu'une seule fois au questionnaire proposé De.Landsherre (1982). Pour un niveau donné, l'effectif global indiqué dans le tableau ci-dessous correspond au cumul des effectifs des échantillons engagés.

| ***Niveau d'étude*** | *2ème* ***A*** S* | *3ème* ***A*** S* | *1ère* ***A*** U** | *2ère* ***A*** U** |
|---|---|---|---|---|
| ***Effectif Global*** | 270 | 300 | 120 | 36 |

**Tableau représentant la structure des populations interrogées**

**(*) Année d'enseignement secondaire (second cycle)**

(**) Année d'enseignement universitaire)

**2. <u>L'instrument de recherche utilisé</u>** :

Le choix de la grille précitée est à la fois un moyen pour déterminer la prégnance des représentations et une réponse à nos questionnements. Ainsi, elle nous a permis de réaliser une étude exploratoire consistant en des entretiens avec des effectifs restreints d'élèves et étudiants pris au hasard et la distribution d'un questionnaire préliminaire que nous ne reprenons pas ici pour des raisons de concision.

Le questionnaire est formulé sous forme de questions fermées assorties de demande de justification. À cet effet, une situation physique relevant de la mécanique a été mise en jeu.

Ce questionnaire a été distribué en grande partie par les auteurs de l'article, le reste ayant été dévolu à des inspecteurs d'éducation préalablement sensibilisés aux exigences du test (anonymat, caractère individuel des productions, exhortation des élèves à justifier les réponses, temps de composition suffisant. (La version originale est en arabe).

**3**. **<u>Hypothèse de recherche</u>** :

Partant de nos différents " constats" dans la phase exploratoire de la recherche, nous nous sommes posé la question-problème suivante ***:***

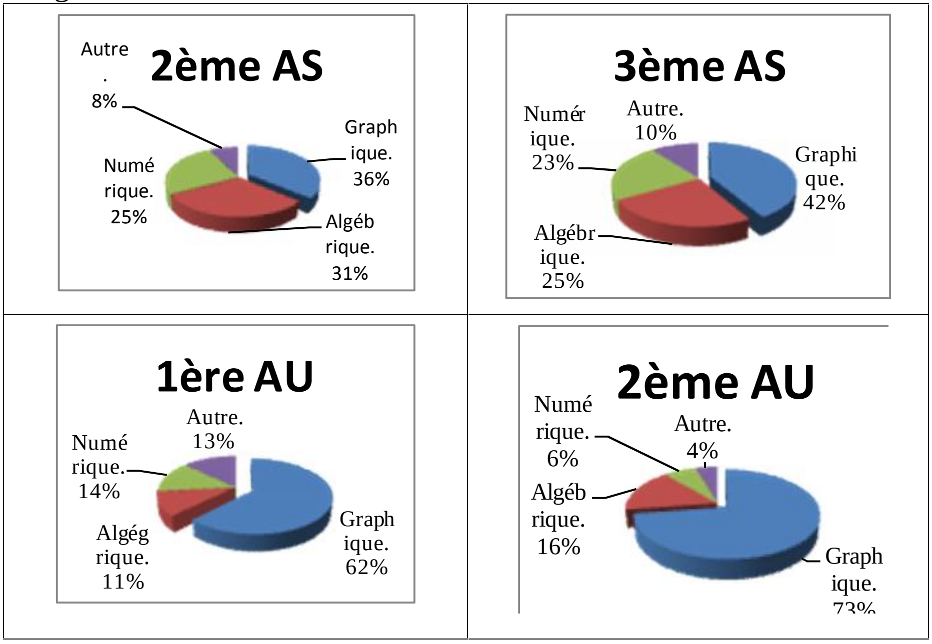
*<u>Quel type de stratégie les apprenants opèrent- ils lors du processus de conversion ?</u>*

Par extension nous avons émis l'hypothèse de recherche qui suit :

**<u>Lors du processus de conversion, les apprenants adoptent dans la majorité des cas une stratégie centrée sur la dimension graphique au détriment des dimensions numérique et algébrique</u>.**
Nous nous attellerons donc à tester l'hypothèse émise au départ et par ricochet essayer de répondre à la question-problème posée.

- **<u>PRINCIPAUX RÉSULTATS DE L'ENQUÊTE</u>**

L'analyse des résultats dans la phase exploratoire révèle un penchant prononcé des apprenants pour la dimension graphique au détriment des deux autres, l'algébrique et la numérique, ce qui est représenté par la figure **[1]**.




**<u>Figure</u> [1]** : ***la distribution des choix opérés par les apprenants au niveau de la phase exploratoire.***

**Analyse et interprétation** :

Ces résultats révèlent un penchant des apprenants, dans leur majorité, pour la représentation graphique dans les différents niveaux d'études concernés notamment lorsqu'on passe d'un niveau à un niveau

Ceci s'explique par l'exploration de quelques conditions pour la visualisation rendues possibles grâce aux activités cognitives de registres de représentations sémiotiques (Duval, 1999) .

Cet attachement au registre graphique reflète une appréhension globale des images qui sont nécessaires à la coordination des registres.

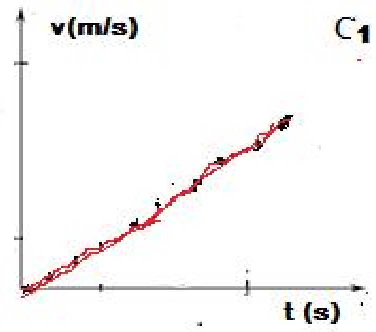
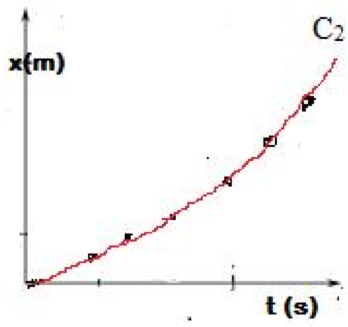
Ces derniers sont essentiels pour la maitrise du concept de dérivée d'une part et d'autre part parce qu'ils génèrent des difficultés d'apprentissage qui sont également étudiées par Cornu (1983), Sierpinsky (1985) et Castela (1995) ; toutefois certains apprenants ne se contentent que d'une appréhension locale.

Partant de ce constat, nous avons soumis les apprenants à la situation physique présentée ci-dessous à travers laquelle nous essayerons de déterminer la capacité des apprenants à convertir la représentation graphique mettant en jeu le concept de dérivée à l'algébrique et à la numérique. Ceci exige d'eux à priori une maitrise des activités cognitives ou l'apport d'arguments le cas échéant.

**Situation schématisant la prégnance des représentations graphiques liées à la notion de dérivée et de leurs conversions chez les apprenant**

On a enregistré un mouvement d'un mobile à l'aide d'un instrument informatisé et obtenu deux diagrammes :☞

- *Diagramme des abscisses en fonction du temps x (t)*
- *Diagramme des vitesses en fonction du temps v (t)*

| **Graphe [C1]** | **Graphe [$C_2$ ]** |
|---|---|
|  |  |

Convertissez les deux graphiques $C_1$ *et* $C_2$ *en* une seule expression algébrique.

*Justifiez votre approche ?*

☞……………………………………………………………………
……………………………………………………………………
……………………………………………………………………
…………………………………………………….. ………………
……………………………………………………………………..

Les résultats regroupés dans la figure [2] révèlent une réussite des répondants pour la lecture spontanée des graphes et leurs conversions en expressions algébriques. Cette réussite apparaît dans les différents niveaux d'études concernés notamment lorsqu'on passe d'un niveau à un niveau supérieur.

Ceci nous montre que la perception des apprenants envers l'utilisation du concept mis en jeu évolue au fur et à mesure qu'ils passent d'un niveau à un niveau supérieur**.**

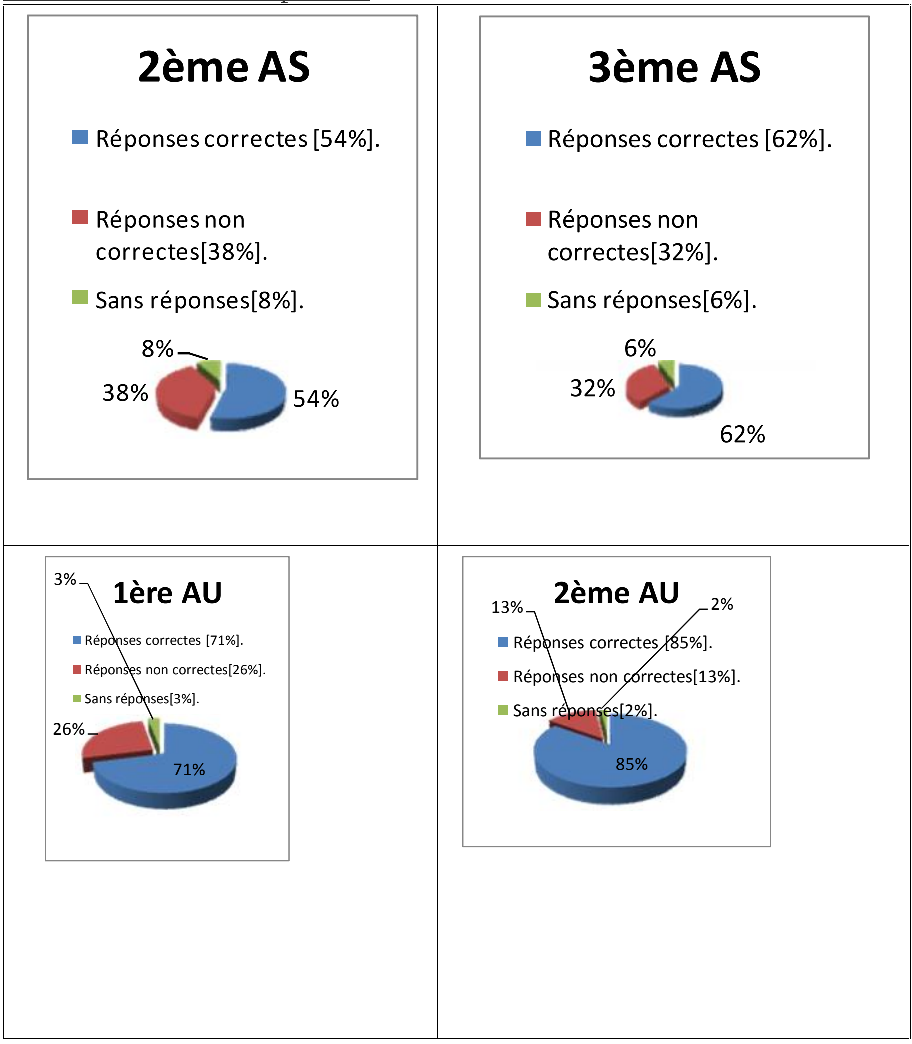



**Figure [2]** : ***Réponses globales de la situation.***

Les réponses révèlent que la quasi-totalité des apprenants ayant répondu correctement considèrent explicitement que la courbe d'une parabole se voit intuitivement, vu que l'équation d'une parabole ou d'une droite sont apprises dans le cours de mathématique.

Il y a donc une correspondance entre le graphique donné et l'algébrique attendu, ce qui représente une activité de conversion par l'intermédiaire d'une activité de traitement.

On peut donc citer les propos suivants : *« nous avons converti le graphe $C_2$ en une équation de deuxième degré correspondant à une courbe d'une parabole»* (2ème AS). Les réponses incorrectes à la question révèlent l'incapacité visuelle des apprenants à relier les deux graphes et les convertir selon la relation ($v=\frac{dx}{dt}$). Les répondants justifient leur attitude par le fait qu'il y ait une différence entre le graphe $C_2$ et le graphe $C_1$**.** Ces répondants perçoivent visuellement $C_2$ comme un tracé d'une fonction, mais la nuance qu'ils voient entre celui-ci et l'expression algébrique obtenue est jugée assez importante pour nécessiter une représentation d'une même expression de deux représentations différentes. Un répondant exprime ainsi cette nuance :

*« On ne peut pas convertir $\boldsymbol{C_1}$ et $C_2$ en une seule représentation, $C_1$ étant une équation d'une droite qui ne peut pas avoir de relation avec $C_2$ qui représente une équation d'une parabole* » (2ème AS).

Au terme de notre enquête, nous pouvons dire que la lecture spontanée des graphes et leurs conversions a fait apparaître chez certains interviewés une incapacité de convertir les différentes représentations selon le cadre de Duval malgré son utilité.

Ce cadre décrit en effet certaines difficultés chez les apprenants dans la compréhension et l'apprentissage des concepts mathématiques pour ce qui est de la dérivée. Le cadre définit des conditions nécessaires à sa visualisation (en calcul). Elle est liée à l'utilisation explicite ou implicite du graphique enregistré et à la coordination avec les autres représentations dans un même ou différent registre.

Ce que nous avons constaté dans les réponses des interviewés. L'image doit être nécessairement accompagnée d'une appréhension globale.

Le cadre permet d'examiner l'utilisation du registre graphique par les apprenants et révèle une difficulté cognitive très élevée de visualisation soutenue par Eisenberg et Dreyfus (1991).

En outre, la visualisation est liée à la fonction heuristique des images (Duval, 1999) identifiée avec des méthodes visuelles (Presmeg, 1985). Ce diagnostic nous intime à recommander une coordination des plus efficace entre les approches d'enseignement en mathématique et en physique pour la visualisation du ~~le~~ concept de dérivée.

- **IMPLICATIONS PÉDAGOGIQUES :**

Il est admis qu'un apprentissage harmonieux de la physique doit impliquer une aptitude à assumer tout changement de cadre mathématiques/physiques.

Il apparaît donc nécessaire que les apprenants soient initiés au préalable à une théorie de représentation « minimale » des outils sémiotiques.

Celle-ci devrait insister sur les activités cognitives avec la prise en compte des impératifs de stabilité de la représentation des concepts (facilité opératoire, gain de temps, etc.) en rapport avec les exigences de la communication scientifique.

En ce sens, il est souhaitable de porter une attention particulière à la manière dont les enseignants les utilisent.

A ce propos, l'analyse des savoirs enseignés du point de vue de la théorie des représentations nous est apparue très pertinente ; en effet, des recherches de ce type pourraient nous éclairer sur les difficultés des apprenants liées à l'utilisation des représentations éventuellement induites par l'enseignement.

Ainsi, ne faut-il pas penser à un prolongement intéressant qui permettrait de mieux comprendre comment ou telle approche d'enseignement ou telle autre favoriserait un meilleur usage des représentations.

- **CONCLUSION :**

Les résultats auxquels nous sommes parvenus à travers cette recherche révèlent à la fois la prédominance de la perception graphique chez les apprenants au détriment des deux autres représentations à savoir, l'algébrique et la numérique et leur capacité de conversion.

Ce penchant et cette capacité ne peuvent se faire que par référence à un « registre » personnel de correspondance représentations-grandeurs.

Cette attitude montre que les représentations sont lues sur la base d'acquis sans prise en compte du contexte institutionnel.

L'attachement à une dimension visuelle s'avère d'une ampleur dépassant le simple niveau de confort de compréhension remarqué lors de la conversion d'une représentation à une autre.

Il s'agit d'une conduite incompatible avec la prégnance de la représentation graphique liée au concept mis en cause et pouvant être source de difficultés d'apprentissage de la physique liées à l'utilisation des outils des représentations correspondantes.

La réduction partielle d'une telle conduite à des difficultés liées à l'utilisation des outils sémiotiques constituerait une piste, un éclaircissement plus profond du sujet.

Ces résultats, une fois affinés, suggèrent de réviser les modalités courantes de l'apprentissage d'un objet mathématique en physique et d'accorder une grande importance aux activités permettant de réhabiliter l'outil graphique du langage de la physique.

Ces dispositions ne prendraient vraiment à notre avis un sens que lorsque les ambiguïtés entachant le sujet ou la situation-problème proposée soient levées tant sur le plan de la transposition didactique que sur celui de la formation des enseignants de mathématiques et de physique appelés à une coordination plus poussée et plus ciblée.

## ➢ RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

**CASTELA, C. (1995).** Apprendre avec et contre ses connaissances antérieures. Un exemple concret, celui de la tangente. Recherches en Didactique des Mathématiques, Vol 15, n°1, pp. 7-47. Cauchy, A. L. (1821). Cours d'Analyse.

**CORNU, B. (1991).** Limits; In D. Tall (Ed.), Advanced Mathematical Thinking (pp. 153- 166). Dordrecht: Kluwer Academic Publisher.

**CORNU, B. (1983).** Apprentissage de la notion de limite : conceptions et obstacles. Grenoble: Université Joseph Fourier.

**DAVID, Tall. (2010).** Perceptions, Operations and Proof in Undergraduate Mathematics, CULMS *Newsletter* (*Community for Undergraduate Learning in the Mathematical Sciences),* University of Auckland, New Zealand, 2, November 2010, 21-28.

**DE LANDSHERE, G. (1982),** Introduction à la recherche en éducation. Armand Colin, Paris, 5ème édition.

**DOUADY, R. (1992).** Des apports de la didactique des mathématiques à l'enseignement. Repères Irem, n°6.

**DUVAL, R. (1993)** . Registre de représentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensé. Annale de didactique et de sciences cognitives de l'IREM de Strasbourg. Vol 5, p. 37-65.

**Duval, R. (1999)**. Representation, vision and visualization: Cognitive functions in mathematical thinking. Basic issues for learning. In F. Hitt y M. Santos (Eds.),Proceedings of the 21st North American PME Conference 1, 3-26.

**EISENBERG, T. &DREYFUS, T. (1991).** On the Reluctance to Visualize in Mathematics. Visualization in Teaching and Learning Mathematics. Dans W. Zimmermann & S. Cunningham (Dir.), Visualization in teaching and learning mathematics. États-Unis: MAA Series.

**HEID, K.M. (1988).** Resequencing Skills and Concepts in Applied Calculus Using a Computer as a Tool, Journal for Research in Mathematics Education, 19 (1) 3-25. New York, NY: Macmillan Publishing Company.

**MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE. (1990).** *Mathématique, 2ème AS*. Alger, Office National des Publications Scolaires.

**ORTON, A. (1983).** Students' Understanding of Differentiation, Educational Studies in Mathematics, 14235-250.

**PRESMEG, N. C. (1985).** The role of visually mediated processes in high school mathematics: A classroom investigation. Unpublished Ph.D. dissertation, Cambridge University, England.

**SELDEN, J; MASON, A. & SELDEN, A. (1989**). Can Average Calculus Students Solve No routine Problems? Journal of Mathematical Behavior, 8, 45 -50

**SIERPINSKA, A. (1985**) : « Obstacles épistémologiques relatifs à la notion de limite », dans Recherches en Didactique des Mathématiques, Vol. 6, no. 1, 5-67, 1985.

**REPO, S.(1994).** Understanding and reflective abstraction: Learning the concept of derivative in a computer environment. International DERIVE Journal, 1(1), 97-113.

**Vinner, S.(1989).** The Avoidance of Visual Considerations in Calculus Students. Focus on Learning Problems in Mathematics, 11, 149-156.

**ZANDIETH, M. (2000).** A theoretical frame work for analyzing student understanding of the concept of derivate. In E. Dubinsky, A .Shoenfeld & J. Kaput (Eds.), Research in Collegiate Mathematics Education. IV CBMS Issues in Mathematics Education (volume 8, pp. 103-127). Providence, USA: American Mathematical Society.