

Université de Liège
Faculté de Psychologie, Logopédie et Sciences de l'Éducation
Département des Sciences de l'éducation

***Quels impacts des conceptions analogiques de la pensée
humaine en formation***

Une étude quasi-expérimentale sur l'efficacité des apprentissages étayés par des analogies

Promoteur : **FAULX Daniel**

Lectrices : **BAYE Ariane**

PETERS Stéphanie

Mémoire présenté par **Dachet Dylan**

en vue de l'obtention du diplôme de Master en Sciences de l'Éducation à finalité Formation des
adultes

Année académique 2016 – 2017

Université de Liège
Faculté de Psychologie, Logopédie et Sciences de l'Éducation
Département des Sciences de l'éducation

***Quels impacts des conceptions analogiques de la pensée
humaine en formation***

Une étude quasi-expérimentale sur l'efficacité des apprentissages étayés par des analogies

Promoteur : **FAULX Daniel**

Lectrices : **BAYE Ariane**

PETERS Stéphanie

Mémoire présenté par **Dachet Dylan**

en vue de l'obtention du diplôme de Master en Sciences de l'Éducation à finalité Formation des
adultes

Année académique 2016 – 2017

Remerciements

« La valeur d'un homme tient dans sa capacité à donner et non dans sa capacité à recevoir »

Albert Einstein ...

Je souhaite dédier ces quelques lignes aux personnes qui ont, de près ou de loin, contribué à la construction de ce travail et à la finalisation de mon Master en Sciences de l'Education.

Tout d'abord, je tiens à remercier le Professeur Faulx. En tant que promoteur, ses conseils et ses interventions m'ont donné une orientation et m'ont soutenu durant tout le long de ce travail. Sa bienveillance et son écoute ont fait de lui un pilier sur lequel j'ai pu me reposer en toutes circonstances. En tant que professeur, il fut sans aucun doute pour moi l'investigateur de nouveaux projets professionnels et d'un devenir auquel je n'avais jamais songé. Sa rencontre constitue, à l'heure actuelle, l'un des tournants majeurs de ma vie professionnelle. Dans le même ordre d'idée, la Professeure Baye et le Professeur Monseur sont pour beaucoup dans l'aboutissement des parties statistiques de ce mémoire ; leurs conseils et leur aide furent de précieux alliés.

Ensuite, je tiens à remercier Etienne Mazay et Thierry Degrune. Ces deux instituteurs m'ont, en plus de m'avoir donné le goût du travail bien fait, transmis leur passion de l'enseignement. Leur soutien et leur présence durant mes 6 années d'études furent pour moi de réelles motivations à toujours me dépasser. Leurs réflexions, leurs remarques avisées, leurs idées, leurs ressources innombrables, ... furent des lumières qui m'ont guidé tout au long de ce parcours.

Par la même occasion, je tiens à remercier tous les directeurs d'établissement, tous les enseignants et tous les étudiants qui ont, avec attention et bienveillance, accepté de participer aux différentes phases de mon étude.

Pour finir, je tiens à remercier mes collègues étudiants qui, au-delà de l'amitié qui nous lie depuis plusieurs années maintenant, furent pour moi tantôt des conseillers, tantôt des soutiens aussi intellectuels, qu'affectifs, et tantôt des aides indispensables et précieuses. Plus particulièrement, je souhaite remercier Nicolas Petrella, Maxime Reynaerts et Thomas Rovny collègues de chaque travail et de chaque moment d'étude durant ces trois années passées à l'Université de Liège ainsi que Nora Charlier sans qui, de par son soutien affectif et moral sans faille, je n'aurais pu garder le courage et l'optimisme de rendre ce travail en première session.

Je dédicace ce mémoire à mes parents et grands-parents qui n'ont pas compté leurs sacrifices depuis maintenant plus de 20 ans pour me permettre de réaliser un parcours scolaire serein et épanouissant. Leurs investissements quotidiens m'ont permis d'atteindre le master universitaire et m'ont permis de m'accomplir en tant que personne. Merci ...

Sommaire

REMERCIEMENTS	0
SOMMAIRE	1
1. INTRODUCTION	4
1.1 L'ANALOGIE, AU CŒUR DE LA COGNITION	4
1.2 PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE.....	5
1.3 MOTIVATIONS PERSONNELLES	7
1.4 QUESTION DE RECHERCHE	7
1.5 APPORTS ET CONTRIBUTIONS ATTENDUS	7
2. REVUE DE LA LITTÉRATURE.....	9
2.1. L'ESPRIT, DE LA PHILOSOPHIE AUX SCIENCES COGNITIVES	9
2.2. L'ANALOGIE COMME PROCESSUS MENTAL FONDAMENTAL	12
2.3. LE(S) RÔLE(S) DE L'ANALOGIE DANS LA COGNITION	22
2.4. LES DÉBOIRES DE L'ANALOGIE	38
2.5. TABLEAU DE SYNTHÈSE : ANALOGIE ET APPRENTISSAGE	40
3. HYPOTHÈSES ET QUESTIONS DE RECHERCHE.....	42
3.1. INTRODUCTION.....	42
3.2. CONSTAT ISSU DE NOTRE REVUE DE LA LITTÉRATURE.....	42
3.3. UNE INTUITION INNOVANTE.....	42
3.4. NOS HYPOTHÈSES PROPREMENT DITES.....	43
4. MÉTHODOLOGIE	45
4.1. UN DESIGN QUASI-EXPÉRIMENTAL	45
4.2. DESCRIPTION DE LA POPULATION ET DE L'ÉCHANTILLON	51
4.3. LE QUESTIONNAIRE, UN INSTRUMENT DE RECUEIL DE DONNÉES.....	54
4.4. LES TRAITEMENTS STATISTIQUES ENVISAGÉS.....	56

4.5.	LES VIGILANCES ÉTHIQUES NÉCESSAIRES	57
5.	RÉSULTATS OBTENUS.....	58
5.1.	INTRODUCTION.....	58
5.2.	EVALUATION DES COPIES ET CODAGE DES DONNÉES	58
5.3.	PARAMÈTRES STATISTIQUES DESCRIPTIFS.....	59
5.4.	TEST DE NORMALITÉ.....	63
5.5.	COMPARAISON DES GROUPES EXPÉRIMENTAUX	65
5.6.	EFFETS D'INTERACTION AVEC D'AUTRES VARIABLES INDÉPENDANTES	68
5.7.	QUELQUES RÉSULTATS QUALITATIFS.....	70
6.	DISCUSSION.....	74
6.1.	INTRODUCTION.....	74
6.2.	UNE SUPÉRIORITÉ APPARENTE DE L'ANALOGIE DISTALE ?.....	76
6.3.	QUID DE L'IMPACT DES AUTRES VARIABLES INDÉPENDANTES ?.....	87
6.4.	DES PHÉNOMÈNES D'INTERFÉRENCE ?	90
6.5.	DES BIAIS MÉTHODOLOGIQUES ?.....	95
7.	CONCLUSION.....	97
8.	BIBLIOGRAPHIE.....	101
9.	ANNEXES.....	CXI
9.1.	ANNEXE N°1 – EXEMPLE « LES TROIS INGRÉDIENTS DE L'ANALOGIE »	CXI
9.2.	ANNEXE N°2 – EXEMPLE D'UN MANUEL ANALOGIQUE	CXII
9.3.	ANNEXE N°3 – ILLUSTRATION « LA DIVERSITÉ DE NOTRE ENVIRONNEMENT »	CXIII
9.4.	ANNEXE N°4 – EXPLICATION DU CONCEPT DE FISSION POUR TOUTES LES CONDITIONS.....	CXV
9.5.	ANNEXE N°5 – QUESTIONNAIRE	CXVI
9.6.	ANNEXE N°6 – QUESTIONNAIRE À DESTINATION DES PROFESSIONNELS DES SCIENCES.....	CXIX
9.7.	ANNEXE N°7 - GRILLE D'ÉVALUATION/CODAGE DES RÉPONSES AUX QUESTIONNAIRES	CXXIII
9.8.	ANNEXE N°8 – HISTOGRAMMES DES MOYENNES.....	CXXV

9.9. ANNEXE N°9 – TABLEAUX STATISTIQUES DU TEST DE GRUBBS RÉALISÉ AU SEIN DE CHAQUE GROUPE EXPÉRIMENTAL/CONTRÔLE.....	CXXVIII
9.10. ANNEXE N°10 – TESTS DE NORMALITÉS RÉALISÉS SUR L’ENSEMBLE DE L’ÉCHANTILLON	CXXX
9.11. ANNEXE N°11 – RÉSULTATS DES TESTS DE SHAPIRO-WILK AU SEIN DES DIFFÉRENTS GROUPES EXPÉRIMENTAUX	CXXXV
9.12. ANNEXE N°12 – RÉSULTATS DES TESTS DE KRUSKAL-WALLIS ET DES TESTS SUR LES MÉDIANES.....	CXXXVII
9.13. ANNEXE N°13 – RÉSULTATS DES TESTS PARAMÉTRIQUES	CXLII
9.14. ANNEXE N°14 – TESTS U DE MAN-WHITNEY	CXLIV
9.15. ANNEXE N°15 – ANALYSE DE L’EFFET D’INTERACTION	CXLVII
9.16. ANNEXE N°16 – EXEMPLE DE QUESTIONNAIRES ET GRILLES D’ÉVALUATION.....	CXLIX
9.17. ANNEXE N°17 – RÉSULTATS DES ANALYSES COMPLÉMENTAIRES SUR L’IMPACT DU SEXE DES SUJETS DANS NOTRE ÉTUDE	CCIII

1. Introduction

1.1 L'analogie, au cœur¹ de la cognition

« *Like Judas of old ; You lie and deceive ; A world war can be won ; You want me to believe ; But I see through your eyes ; And I see through your brain ; Like I see through the water ; That runs down my drain* » Bob Dylan, Masters of wars^{2 3} (1963, The Freewheelin').

Bob Dylan, en 1963, use d'une bien séduisante analogie pour dénoncer les bureaucrates qui, cachés derrière leur bureau, envoyaient des milliers de soldats américains à la mort sur le front du Vietnam. Comparés à Judas, le plus grand traître de l'histoire chrétienne, il leur dessine un portrait bien peu avantageux ...

« *Elisa, Elisa ; Elisa cherche-moi des poux ; Enfonce bien tes ongles ; Et tes doigts délicats ; Dans la jungle de mes cheveux (...)* » Serge Gainsbourg, Elisa⁴ (1969, Jane Birkin – Serge Gainsbourg).

Quant à lui, en 1969 dans sa célèbre chanson « Elisa », Serge Gainsbourg compara, sur base d'une métaphore, ses propres cheveux à une jungle. Grâce à cet artifice de langage, il nous propose de nous représenter sa chevelure comme une étendue « *couverte d'une végétation épaisse et exubérante* » (C.N.R.T.L., 2012) dans laquelle règne « *la loi du plus fort* » (C.N.R.T.L., 2012).

Notre projet de recherche traitant des analogies, il nous a semblé indispensable d'en proposer, dès les premières lignes, deux exemplifications qui permettront déjà aux lecteurs de faire un premier pas vers la conceptualisation de cette notion abstraite.

Qui plus est, ces deux exemples nous permettent dès lors d'avancer l'une de nos thèses, défendues plus amplement dans les prochaines parties du travail, présentant la métaphore comme une sous-espèce d'analogie.

Le choix des analogies, quant à lui, peut sembler assez surprenant... En fait, ça ne l'est pas tant que ça. Ces analogies, rencontrées au sein de deux chansons populaires – l'une nous provenant de la chanson française et l'autre de la chanson anglaise – parmi tant d'autres usant de telles figures de

¹ Le titre donné à ce chapitre n'est pas sans rappeler, et ce de manière tout à fait intentionnelle, le livre de Douglas Hofstadter et d'Emmanuel Sander « *l'analogie, cœur de la pensée* » (2013) qui fut notre source d'inspiration tout au long de ce mémoire.

² Traduction proposée par lacoccinelle.net : Comme Judas autrefois ; Vous mentez et trompez ; Vous voulez nous faire croire ; Qu'une guerre mondiale peut se gagner ; Mais je vois à travers vos yeux ; Et je vois à travers vs cerveaux ; Comme je vois à travers les eaux ; Qui s'écoulent dans nos égouts.

³ Paroles et traduction proposées par lacoccinelle.net : <http://www.lacoccinelle.net/254380.html>

⁴ Paroles proposées par paroles-musique.com : http://www.paroles-musique.com/paroles-Serge_Gainsbourg-Elisa-lyrics,p12535

style, nous permet d'avancer l'une de ces caractéristiques qui en fait un procédé impérieux à analyser dans le domaine des sciences de l'éducation : l'analogie est omniprésente, voire déterminante, dans la pensée de tous les être-humains !

En effet, comme le rappelle Borella (2012, p. 24) « *dans la mesure où l'analogie, au sens large, désigne l'idée d'une correspondance entre les éléments de deux ensembles différents grâce à laquelle on peut établir entre eux une comparaison, elle constitue un procédé inhérent à toute pensée humaine* » et ce indépendamment des racines culturelles.

D'ailleurs, depuis quelques années maintenant, de plus en plus de psychologues cognitifs et de neuropsychologues ont tendance à concevoir la pensée humaine – et notamment les processus de conceptualisation⁵, de catégorisation et d'enrichissement des concepts tout au long de la vie⁶, ainsi que ceux de création (Hofstadter & Sander, 2013 ; Sander, 2000) – comme étant de nature fondamentalement analogique (Dunbar & Blanchette, 2001 ; Hofstadter & Sander, 2013 ; Sander, 2000 ; Paulson, 2014).

Considérant la pensée comme fonctionnant sur base d'analogies, il nous semble primordial d'étudier l'impact de cet outil, qui semblait à l'origine purement rhétorique, dans l'éducation et la formation, et plus précisément dans la formation des adultes. Une évaluation de l'impact des analogies sur les rendements scolaires des étudiants à l'aune de leurs résultats à différents questionnaires de restitution, de compréhension et de transfert, nous semble dès lors une voie prometteuse afin de déterminer de nouveaux possibles dans les domaines pédagogiques.

1.2 Problématique générale

Belges, à l'instar de nos voisins français, nous vivons dans un pays obstrué, freiné, voire pire immobilisé, par un système éducatif qui laisse se reproduire et se proliférer les inégalités sociales (APED, 2014 ; Crahay, 2007) par le biais des inégalités scolaires qu'il crée et encourage (Crahay, 2007 ; Hirtt, 2009). Preuve tangible de la perpétuation de ces inégalités à travers notre système éducatif, l'échec scolaire⁷ se distribue anormalement dans la population ; étant notamment plus répandu dans les populations à faible statut socio-économique que dans les populations à haut statut socio-économique⁸ (Crahay, 2007 ; Grissom & Shepard, 1989). Qui plus est, comme le

⁵ A ce titre, D. Hofstadter et E. Sander (2013, p. 09) diront que « *sans concepts, il n'y a pas de pensée – et sans analogies, il n'y a pas de concept* ».

⁶ A ce titre, D. Hofstadter et E. Sander (2013, p. 09) diront que « *chaque concept qui est présent dans notre esprit doit son existence à une immense suite d'analogies élaborées inconsciemment au fil du temps, lui donnant naissance et continuant pendant notre vie entière à l'enrichir* ».

⁷ Variable souvent observée par les chercheurs sur base des rendements scolaires des étudiants, mais aussi des éventuels redoublements ou prolongements de cursus qu'ils subissent.

⁸ Comme en atteste la corrélation de -0.20 mise en avant par Grissom et Shepard en 1989 entre le statut socio-économique et le rendement scolaire.

rappellent D. Poncelet et D. Lafontaine (2011), le décrochage scolaire est corrélé à des variables relatives à l'origine socioculturelle des étudiants et à la socialisation de leur famille.

Origine sociale (Poncelet & Lafontaine, 2011), statut socio-économique (Crahay, 2007 ; Grissom & Shepard, 1989), relation avec les pairs (Poncelet & Lafontaine, 2011), motivation et engagement dans la tâche (Boujut & Bruchon-Schweitzer, 2007 ; Bourgeois, 2006 ; Sarrazin, Tessier & Trouilloud, 2006), passé scolaire (Crahay, 2007 ; Jimerson 2001 ; Romainville, 1997), stratégies d'apprentissage et méthodes de travail (Perret, 2013 ; Pirot & De Ketele, 2000), ... s'avèrent tous être des facteurs déterminants dans l'avenir scolaire des apprenants.

Quant à elles, les capacités intellectuelles et cognitives pures ont certes un impact sur le rendement scolaire des apprenants (Boujut & Bruchon-Schweitzer, 2007 ; Romainville, 1997) mais, de manière assez étonnante peut-être, cet impact ne semble pas plus important que l'impact des autres variables citées ci-dessus (Barth, 2013, b).

Faisant ce même constat à travers ces ouvrages, Britt-Mari Barth (2013, a & b) œuvre à concevoir et à mettre en place une méthode intellectuelle rigoureuse permettant à tous les apprenants – quel que soit leur origine, leur statut socioéconomique, leur relation, leurs capacités intellectuelles, ... – d'acquérir des connaissances, des plus concrètes aux plus abstraites. Fer de lance de ses ouvrages, l'atteinte de l'égalité des acquis semble, dès lors, devenir un objectif accessible de part, entre autres, l'enseignement explicite des contenus, des liens entre les activités vécues et le savoir formel ainsi que de méthodes et de techniques d'apprentissage (Bonnerly, 2007 ; Joigneaux, 2009), permettant, par voie de conséquence, l'adoption d'une « attitude d'appropriation » par les apprenants.

La recherche, que nous vous présentons à travers les prochaines pages, prolonge ces différents travaux. En effet, considérant l'analogie comme étant le cœur de la cognition humaine, nous pensons que cet artifice de langage peut devenir la base sur laquelle se fonderont différentes méthodes et techniques d'apprentissage. Dès lors, leur explicitation aux apprenants pourrait permettre d'approcher, au sein de nos systèmes éducatifs, l'égalité des acquis, depuis longtemps recherchée par tous les professionnels de l'éducation et les décideurs politiques.

Enfin, dans la même optique, le développement d'une méthodologie d'enseignement basée sur l'analogie et l'explicitation de techniques d'apprentissage issues de ce processus aux apprenants semblent être une voie prometteuse afin d'assurer à ceux-ci une « *égalité d'accès à la culture requise par l'école* » – objectif énoncé formellement par le « *Pacte pour un enseignement d'excellence* » (Viviers, 2015, p.59) – ; condition nécessaire afin d'empêcher le capital socio-économico-culturel de départ des apprenants de jouer un rôle majeur sur le devenir scolaire de ces derniers.

1.3 **Motivations personnelles**

En tant qu'enseignants, mais aussi en tant que futurs formateurs, il est de notre responsabilité de sans cesse tenter d'optimiser notre enseignement. C'est dans cette optique que s'insère cette recherche. En effet, nos motivations sont essentiellement de nous doter d'un dispositif, éprouvé par la recherche, qui pourrait être utilisé dans notre pratique d'enseignant ou de formateur afin de favoriser l'apprentissage de nos différents publics.

Qui plus est, ce mémoire se situe à la rencontre entre deux disciplines qui nous passionnent : la psychologie cognitive et les sciences de l'éducation. A notre sens, d'ailleurs, les sciences de l'éducation se doivent d'être inspirées par les paradigmes mis en avant par les recherches en psychologie cognitive.

1.4 **Question de recherche**

Au regard du caractère relativement inédit de la présente recherche, nous avons décidé de baser nos investigations sur une question dont la formulation est volontairement large et globale. Les deux variables mises en relation au sein de cette question seront néanmoins précisées lors de la formulation des hypothèses. Quoiqu'il en soit, la question de recherche se formule comme suit :

« La mise en place d'un dispositif d'enseignement/de formation mettant en avant des analogies ayant pour but d'étayer les contenus d'enseignement/de formation a-t-elle un impact sur l'efficacité des apprentissages scolaires/de formation ? »

Notre objectif sera donc d'implémenter dans des classes ou des groupes de formation un dispositif permettant aux apprenants de disposer d'analogies sur le contenu d'enseignement ou de formation afin de comparer les résultats à une évaluation (basée sur la rétention, la compréhension et le transfert du contenu) de ces groupes (groupes expérimentaux) aux résultats à la même évaluation d'autres groupes n'ayant pas bénéficié de ce dispositif (groupes contrôles) ou ayant bénéficié d'autres dispositifs dont l'objectif est, également, d'étayer les contenus d'enseignement ou de formation.

1.5 **Apports et contributions attendus**

Malgré le design « scientifique » que nous nous employons à mettre en place pour appuyer cette recherche dans toutes les phases qui la compose, il serait utopique d'imaginer que nos investigations, dans le cadre réduit d'un mémoire, aient d'autres objectifs qu'une finalité tout simplement exploratoire.

En effet, nous ne pouvons, quels que soient les résultats obtenus lors de nos expérimentations, conclure qu'à un impact positif ou négatif, voire à un non-impact, d'un dispositif d'étagage par analogie des contenus d'enseignement sur l'efficacité des apprentissages réalisés lors de quelques situations de formation. Dans cette optique, nous pourrions certes prétendre (ou du moins espérer prétendre) à un degré minimum de généralisation de nos résultats ; néanmoins, nous ne pourrions pas revendiquer un titre « d'avancée pédagogique ».

Cependant, nous pensons clairement que cette recherche ouvre de nombreuses perspectives dans le domaine de la recherche en sciences de l'éducation ainsi que dans les domaines de l'enseignement et de la formation. Effectivement, le « raisonnement par analogie » semble depuis quelques années faire couler de plus en plus d'encre dans les manuels de psychologie cognitive, dans les ouvrages traitant de la rhétorique et de l'argumentation, dans les essais et analyses philosophiques, ... Notre tentative d'en faire un outil au service de préoccupations pédagogiques sera, nous l'espérons, quels que soient les résultats obtenus, un point de départ pour d'autres recherches – qu'elles soient expérimentales, de type recherche-action, ou encore d'un tout autre type – et pour l'implémentation de dispositifs « analogiques » dans les classes et les groupes de formation.

2. Revue de la littérature

2.1. L'esprit, de la philosophie aux sciences cognitives

2.1.1. Des paradigmes originellement philosophiques

Depuis plus de deux millénaires (Dortier, 2013 a), les philosophes nous offrent des théories diverses et variées tentant de définir et de modéliser le fonctionnement de l'esprit humain. Aux alentours du cinquième siècle avant Jésus-Christ, **Platon** – qui fut suivi par de nombreux disciples à travers les âges – proposa une modélisation de la pensée dans laquelle elle s'avère n'être qu'un reflet terne du « monde des idées » (Dortier, 2013 a) ; monde constituant, « pour Platon, l'objet propre de l'intelligence » (Loriaux, 1952, p.12) et façonné d'idées intemporelles, immuables, universelles, absolues, ... externes à l'« Être » humain. Il faudra attendre le siècle suivant avant qu'**Aristote** reconsidère cette modélisation de la pensée humaine. Selon lui, cette dernière est intimement liée à des activités psychiques d'ordres inférieurs – et dépendantes de l'organisme corporel – sur lesquelles « elle – faisant référence à la pensée – apparaît comme le couronnement suprême » (Verbeke, 1990 p. 68). Ainsi, la pensée est modélisée comme l'inscription, par l'esprit, de formes de la nature perçues par l'organisme corporel (Dortier, 2013 a). Plus tard, des philosophes dits « **empiristes** » (Dortier, 2013 a) – tel que Roger Bacon (Hoffmans, 1925) – considèrent que l'origine de la pensée se situe dans les sens et dans l'expérience qui permettent la conception des idées, des plus concrètes et particulières aux plus abstraites et générales. Par la suite, certains philosophes – dont le plus connu est, sans aucun doute, **Emmanuel Kant** – en sont venus à critiquer les conceptions empiristes de la connaissance. Pour eux, l'expérience et la sensation ne suffisent pas pour permettre la pensée ; des schèmes⁹ – *a priori* selon Kant – ou schémas mentaux doivent être présents et être activés dans l'esprit afin de lier, de classer et de catégoriser les expériences et le vécu sensoriel (Dortier, 2013 a) et ainsi permettre au sensible de s'élever au rang de concept (Boulad-Ayoub, 1990). Enfin, en 1975, **J.W. Freiberg** en vient à considérer la pensée comme fonctionnant sur base d'une dialectique existant « entre la détermination partielle et l'indépendance partielle des processus de notre conscience » (1975, p. 99). Par « détermination partielle », J.W. Freiberg tente de rendre compte de la « dépendance historique de la pensée humaine » (1975, p. 100) ; autrement dit, la pensée humaine est, selon lui, en partie dépendante et construite par les processus sociaux en vigueur à une époque donnée. Par « indépendance partielle », J.W. Freiberg essaye de rendre compte des différences qu'il existe

⁹ Chez Kant, le terme « Schème » peut être défini comme une « représentation qui est intermédiaire entre les phénomènes perçus par les sens et les catégories de l'entendement » (C.N.R.T.L., 2012).

¹⁰ Selon J. Boulad-Ayoub (1990, p. 43), le terme « Schème », utilisé par Kant, peut être défini comme une « représentation intuitive, mais soumise à une règle conceptuelle, grâce à laquelle le concept peut recevoir une figuration adéquate et le sensible être lié dans un concept ».

entre la pensée de membres de différents groupes sociaux ; différences pouvant être dues à de nombreuses variables telles que l'origine, la région géographique habitée, la classe sociale, le statut socio-économique, ...

2.1.2. La réactivation des paradigmes par les psychologues

Aux philosophes, ont succédé les psychologues qui, armés d'une méthodologie plus scientifique (Dortier, 2013 a), ont à leur tour tenté de comprendre et de modéliser la pensée humaine. Avec cette méthode, l'esprit, autrefois notion renvoyant à la pensée en tant que phénomène mental singulier, devint progressivement un assemblage de différents mécanismes cérébraux étudiés séparément (Dortier, 2013 a) : la perception¹¹, la mémoire¹², l'intelligence¹³, ... De nombreux courants psychologiques se sont relayés à travers les années et avec eux les modèles tentant de rendre compte de la pensée humaine. L'école **béhavioriste** – courant dominant la psychologie anglo-saxonne du début du 20^{ème} siècle (Dortier, 2013 a) – conçoit la pensée comme la résultante de conditionnements permettant à l'individu d'apprendre sur base de la création d'une connexion entre un stimulus donné et une réponse (Crahay, 2013 ; Raynal & Rieunier, 2014). Les psychologues issus du courant de la **Gestalt**, quant à eux, considèrent que le cerveau humain possède des schémas mentaux – ce qui n'est pas sans rappeler les schèmes d'Emmanuel Kant – préalables permettant à l'homme de penser et d'appréhender le monde qui les entoure (Crahay, 2013 ; Dortier, 2013 a). Les tenants du **constructivisme** – courant issu des travaux de Jean Piaget – conçoivent la pensée humaine comme la résultante des interactions entre le sujet (les facultés cognitives, l'activation des structures cognitives préalables, ...) et l'objet ou l'environnement à travers des expériences de la vie quotidienne (Bourgeois & Nizet, 2014 ; Crahay, 2013) ; conception de la pensée humaine également très proche de celle proposée par Emmanuel Kant. Pour finir, les tenants de courant **historico-culturel** – courant issu des recherches de Lev Semionovitch Vygotski – plaident en faveur d'une modélisation de la pensée humaine mettant en avant l'importance de la société, de la culture, de l'histoire et du langage – ce qui n'est pas sans rappeler la « *dépendance historique de la pensée humaine* » mise en avant par J.W. Freiberg en 1975 – dans le développement cérébral des êtres-humain (Crahay, 2013).

Les parallèles ici réalisés entre les modélisations psychologiques et les modélisations philosophiques sont tout sauf anecdotiques. En effet, ils mettent en avant la réactivation (Dortier, 2013 a) dans ces

¹¹ Selon R. J. Sternberg (2007, p. 134), par perception, on entend « *l'ensemble des mécanismes par lesquels nous reconnaissons, organisons et donnons du sens aux sensations qu'on reçoit à partir des stimuli de l'environnement* ».

¹² Selon Rossi (2005, p. 17), « *la mémoire est une fonction psychologique permettant de stocker des informations, des connaissances et des apprentissages tant moteurs que cognitifs. Elle comporte des processus d'encodage, de stockage et de récupération.* ».

¹³ Selon F. Raynal et A. Rieunier (2014, p. 276), l'intelligence désigne « *l'aptitude à traiter l'information pour résoudre des problèmes et s'adapter à des situations nouvelles* ».

courants psychologiques des paradigmes énoncés et explicités par les philosophes au cours des siècles ; réactivation qui semble mener à une impasse ... à une controverse perpétuelle et éternelle.

2.1.3. Le développement de la psychologie cognitive

Il faudra attendre le milieu du vingtième siècle avant d'enfin entrevoir une révolution dans la manière d'appréhender la pensée humaine ; révolution offerte par les sciences cognitives (Dortier, 2013 a). Dans un premier temps, la psychologie cognitive modélisa la pensée humaine en la comparant à des programmes informatiques ; le **cerveau** étant lui comparé à un **ordinateur**^{14 15} (Dortier, 2013 a ; Dortier, 2014 a). Dès lors, la pensée humaine devint pour eux un système d'inférences (Steiner, 2005) sur base d'opérations logico-mathématiques et de manipulations de symboles – chaque symbole représentant une instruction donnée – liés entre eux par des lois et des règles logiques (Dortier, 2014 a ; Rossi, 2014). Qui plus est, l'esprit est appréhendé comme étant modulaire (Crahay & Dutrévis, 2010 ; Dortier, 2014 a) ; des modules spécialisés traitent les informations en fonction d'opérations particulières. Néanmoins, en-dehors de certaines activités mentales pouvant être modélisées par des calculs (jouer aux échecs, calculer, résoudre un problème, ...), une multitude d'autres – faisant partie de la vie quotidienne des Hommes, comme, à titre d'exemples, l'apprentissage, la reconnaissance faciale, la création, ... – ne s'avèrent pas transposables en symboles et en opérations mathématiques logiques (Dortier, 2013 a ; Dortier, 2014 a ; Steiner, 2005). Dans un second temps, les sciences cognitives ont représenté l'esprit et la pensée humaine comme un **système connexionniste** composé de neurones inter-reliés grâce à leurs synapses (Dortier, 2013 a ; Dortier, 2014 a ; Rossi, 2014 ; Steiner, 2005). Ainsi, de nombreuses activités cognitives (telles que l'apprentissage) seraient la résultante de l'activation ou de la création de réseaux électriques neuronaux au sein du cerveau humain (Rossi, 2014). Néanmoins, pour de nombreux chercheurs, le connexionnisme « *reste prisonnier de la psychologie associationniste* » et du béhaviorisme « *en étant incapable de rendre compte des capacités de systématisme et de productivité, inhérentes à la pensée* » (Steiner, 2005, p. 30). Il faut ensuite attendre Francisco Varela – et son « *invitation aux sciences cognitives* » en 1988 – pour reconsidérer ces définitions de la pensée humaine en y intégrant une **inscription corporelle** dérivée des systèmes perceptifs, émotionnels ou moteurs inhérent à l'être-humain (Dortier, 2013 a ; Dortier, 2014 a). Autrement dit, « *les pensées ont des formes, des couleurs, du mouvement et des sentiments* » (Dortier, 2014 a, p. 39) dotés d'une connotation plus ou moins positive ou négative. Enfin, des **conceptions situées** (ou distribuées) de la cognition sont mises en avant

¹⁴ Rappelons la formulation de ce paradigme par le philosophe Jerry Fodor dans son ouvrage « *Le Langage de la Pensée* » en 1976 : « *la pensée est au cerveau ce que le logiciel informatique (software) est à la machine (hardware).* »

¹⁵ Cerveau et ordinateur étant tous les deux informavores (expression issue de G. A. Miller) ; autrement dit, des systèmes de traitement de l'information (Steiner, 2005).

par les scientifiques afin de rendre compte de l'importance du collectif – de la relation entre plusieurs cerveaux – dans les mécanismes de pensée (Dortier, 2013 a ; Dortier, 2014 a).

2.1.4. Trois approches générales en concurrence à l'aube du 21^{ème} siècle

A l'heure actuelle, trois théories générales de l'esprit et de la pensée sont défendues par les scientifiques.

La première – dite du « **cerveau statisticien** » ou du « **cerveau prédictif** » – définit la pensée comme la capacité, inhérente à l'être-humain, à prédire et à anticiper, et ce à partir de règles de probabilités et de statistiques ; dont notamment la démarche statistique bayésienne qui nous permettrait d'énoncer une solution a priori à un problème donné sur base de nos expériences passées (Dortier, 2013 a ; Dortier, 2013 b ; Dortier, 2014 a).

Le second modèle considère l'esprit humain comme une multitude de modules – autrement dit de factions spécialisées ou d'agents élémentaires – qui sont en interactions constantes, coopèrent ou/et s'opposent¹⁶ (un peu à la manière des démocraties représentatives) dans la réalisation de certaines activités et de certains comportements ; le tout contrôler et gérer par ce qu'on appelle la conscience (Dortier, 2013 a ; Dortier, 2014 a ; Eagleman, 2013). Le cerveau est alors perçu comme « **une équipe de rivaux** ¹⁷ ».

Le troisième et dernier modèle considère l'**analogie** comme un processus mental fondamental, à l'origine même de la pensée en permettant l'abstraction, la catégorisation, la construction de concepts, la pensée novatrice, ... (Dortier, 2013 a ; Hofstadter & Sander, 2013 ; Hofstadter & Sander, 2014 ; Journet, 2010 ; Sander, 2000). La suite notre revue de la littérature tentera de vous définir l'analogie et de vous montrer en quoi nous la considérons, à l'instar de nombreux autres chercheurs, comme un processus cognitif central de la pensée humaine.

2.2. L'analogie comme processus mental fondamental

2.2.1. L'analogie et raisonnement par analogie, qu'est-ce ?

2.2.1.1. L'étymologie

Les premiers pas vers la compréhension profonde d'un concept semblent être offerts par l'étude de son étymologie ; étude joliment décrite par K. Baldinger (1959, p. 238) comme étant « *la*

¹⁶ On parle d'opposition quand deux factions cérébrales menant à des comportements différents entre, consciemment ou inconsciemment, en conflit ; la décision finale, unique canal de sortie comportemental de l'individu, est alors la résultante d'une supériorité prise par l'une des deux factions sur l'autre.

¹⁷ Rivalité facilement illustrée chez l'être-humain par les conflits réguliers entre les systèmes émotionnels et les systèmes rationnels.

biographie du mot », rappelant ainsi que l'étymologie offre une perspective historique d'une notion donnée. Dans ce cadre, nous pouvons analyser le terme « *Analogie* » comme provenant du mot grec « *Analogia* » composé du préfixe « *ana* » et du terme « *logia* » (Borella, 2012).

- Le terme « *logia* » dérive de « *logos* » qui englobe de multiples sens dont principalement celui de « parole » et celui de « raison » (C.N.R.T.L., 2012), mais aussi ceux de « pensée », de « discours » et de « rapport » (Borella, 2012).
- Le préfixe « *ana* », quant à lui, revêt trois significations principales : « celui d'élévation, « de bas et haut », celui de retour « en arrière », ou encore « en sens inverse », celui de répétition, de ce qui se produit « de nouveau » » (Borella, 2012, p. 23).

Sur base de cette analyse, nous pouvons conclure, au même titre que Borella (2012, p.23), qu'étymologiquement parlant, la notion d' « *analogia* » :

« exprime l'idée d'un rapport (logos) entre ce qui est en haut et ce qui est en bas (verticalité), parce que ce qui est en bas est comme ce qui est en haut (répétition), avec, éventuellement, l'idée d'un reversement (le plus petit comme analogue du plus grand) ».

2.2.1.2. De multiples définitions

Le Trésor de la Langue Française¹⁸ informatisé définit l'analogie, dans son acceptation générale, comme un « rapport¹⁹ de ressemblance, d'identité partielle entre des réalités différentes préalablement soumises à comparaison ; trait(s) commun(s) aux réalités ainsi comparées, ressemblance bien établie, correspondance. »

La psychologie cognitive nous permet d'étendre cette définition. Selon elle, l'homme recourt à l'analogie afin de « construire un modèle dans l'esprit qui peut être utilisé pour comprendre quelque chose à propos du monde » (Holyoak & Thagard, 1999, p. 5). Dans ce cadre, selon Holyoak et Koh (1987, p. 332), « l'analogie est utilisée pour générer des connaissances applicables à un nouveau domaine cible en transférant des connaissances provenant d'un domaine source qui est mieux compris ». Clement et Gentner (1991, p. 89) rejoignent cette vision de l'analogie ; selon eux, « dans une analogie, un domaine familier est utilisé pour comprendre un nouveau domaine afin de souligner des similitudes importantes entre les deux domaines ou de prédire de nouvelles propriétés du nouveau domaine ».

Dedre Gentner, directrice du programme des sciences cognitives de la Northwestern University, élargit ces conceptions de l'analogie en comparant cette dernière à « une cartographie de connaissances » (1989, p. 201) ; cartographie proposant un système de relations entre un domaine de base et un autre domaine, également appelé un domaine cible.

¹⁸ Retrieved from : <http://atilf.atilf.fr/dendien/scripts/tlfiv5/advanced.exe?8;s=2556925035;>

¹⁹ N'oublions pas que « rapport » est une des nombreuses acceptations du terme « *logos* ».

Borella (2012), dans son analyse philosophique de l'analogie, semble adhérer à cette perspective cognitive. Il dit d'ailleurs à ce sujet, que l'analogie « *permet (...) de mettre en lumière une certaine unité du divers et du multiple, et, sur la base de cette unité sous-jacente (et finalement transcendante), d'accéder, à partir du visible²⁰, à une certaine connaissance de l'Invisible²¹* » (Borella, 2012, p. 24).

Parlant des métaphores – rappelons néanmoins que, par définition²², les métaphores constituent une sous-catégorie d'analogies²³ – Lakoff et Johnson (1980) proposent, toujours dans cette même perspective, une définition plus synthétique et plus globale du processus analogique. Selon eux, « *l'essence d'une métaphore²⁴ est qu'elle permet de comprendre quelque chose (et d'en faire l'expérience) en termes de quelque chose d'autre* » (Lakoff & Johnson, 1980, p. 15). Dès lors, à l'instar de Gineste (1997), nous pouvons considérer que la métaphore bouleverse – un peu à l'image d'un filtre – la représentation que nous nous faisons d'un objet (ou d'une situation) en le (ou la) rapprochant d'un autre objet (ou d'une autre situation). Effectivement, ce procédé nous permet de créer une nouvelle représentation du premier objet (ou de la première situation) sur base de la représentation « type » stable et conventionnelle du second objet (ou de la seconde situation).

Ces définitions « cognitives » et « philosophiques » de l'analogie nous permettent de consolider notre thèse de départ : à l'heure actuelle, de plus en plus de chercheurs considèrent l'analogie comme un processus central et prépondérant de la pensée humaine (Dortier, 2009 ; Dortier, 2013 a ; Hofstadter & Sander, 2013 ; Hofstadter & Sander, 2014 ; Journet, 2010 ; Sander, 2000 ; Schiavone, 2014).

2.2.1.3. Une analogie en deux segments

Selon Emmanuel Sander (2000, p.6) – et à l'instar de Dunbar et Blanchette (2001) –, l'analogie, par définition, met en jeu deux situations : « *une situation de référence, connue, appelée source et une situation nouvelle ou moins connue, appelée cible* ». A ce titre, C. Perelman et L. Olbrechts-Tyteca (2008, p. 501) dénomment la situation de référence – en d'autres termes la situation qui est la plus connue – comme étant le « *phore²⁵* » et la situation nouvelle comme étant le « *thème* ». Ainsi, dans le présent travail, les termes « *phore* » et « *source* » seront considérés comme synonymes, au même titre que les

²⁰ Autrement dit, du connu et du familier ...

²¹ Autrement dit, de l'inconnu et du nouveau ...

²² La métaphore est « *une figure d'expression par laquelle on désigne une entité conceptuelle au moyen d'un terme qui, en langue, en signifie une autre en vertu d'une analogie entre les deux entités rapprochées et finalement fondues (...). La métaphore se distingue de la similitude ou comparaison par le fait qu'aucun élément formel de comparaison ne s'y trouve présent* » (CNRTL, 2012).

²³ Dans ses livres traitant de la rhétorique, Aristote avait déjà mis en avant que certaines métaphores reposaient sur un processus d'analogie. « *De là vient que les poètes introduisent des expressions telles que "le chant sans cordes, le chant sans lyre". Et ils les obtiennent au moyen des formes primitives. Ce procédé fait bon effet dans les métaphores qui reposent sur l'analogie ; comme, par exemple, de dire que (le son de) la trompette est un chant sans lyre.* » (Aristote (Livre III, Chapitre VI, VII), 1991, p. 318)

²⁴ Et par extrapolation, l'essence d'une analogie ...

²⁵ Précisons que pour Gentner et Holyoak (1997), la situation de référence revêt également l'appellation de « base ».

termes « *thème* » et « *cible* ». E. Sander (2000, p. 6 & 7) précise par la suite ce qu'il entend par le terme situation. Selon lui, ce terme « *peut désigner un objet (...), un domaine de connaissance (...), une situation quotidienne (...), un problème (...), un récit (...), un système (...), une théorie (...), une image (...)* ».

Quant à eux, Laurent Filliettaz, Ingrid de Saint-Georges et Barbara Dux (2006) ajoutent un troisième ingrédient à l'analogie – en plus de la situation « source » et de la situation « cible » – qui n'est d'autre que le lien analogique qui relie les deux situations. Selon eux, dans les pratiques issues des formations professionnelles, ce lien peut être construit de trois façons distinctes : en utilisant une marque de comparaison linguistique explicite, en utilisant un lien métaphorique (et donc sans aucune marque linguistique), en utilisant des gestes, des postures ou du matériel afin de faciliter la compréhension des relations entre les deux situations. L'étude menée par Tourangeau et Rips (1991) semblent d'ailleurs plaider en faveur de cette troisième composante distincte. Au sein de leurs investigations, l'analyse des résultats de sujets ayant eu pour tâche de juger, sur une échelle, les traits d'objets (cibles ou sources) avant ou après la lecture de l'analogie les reliant a montré que les ressemblances préexistantes reliant ces analogies ne sont qu'une part minime des informations permettant l'interprétation d'une analogie. Cette interprétation dépend également de relations et de traits nouveaux qui émergent de l'analogie elle-même sans être une caractéristique de la source ou de la cible. Selon D. Gentner et B. D. Jee (2010, p. 41), on appelle « *appariement* » les opérations mentales « *consistant à trouver des correspondances entre* » une situation ou un domaine source (« *phore* ») et une situation ou un domaine cible (« *thème* »). Nous vous proposons, en *annexe n°1*, un exemple illustrant les trois ingrédients inhérents aux analogies.

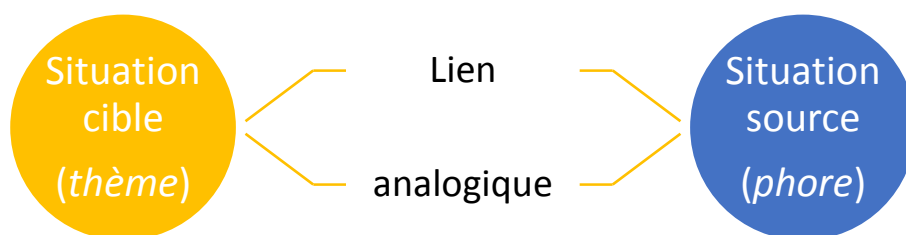


Figure 1: les trois ingrédients de l'analogie

Adaptant la définition proposée par Lakoff et Johnson (1980) en y intégrant toutes ces notions, nous pourrions conclure par la définition suivante²⁶ :

L'analogie permet de comprendre – grâce à la cartographie de connaissances dont elle est à l'origine – une situation cible (« *thème* ») dans les termes d'une situation source (« *phore* ») sur base d'un lien analogique qui relie ces deux situations ; le terme situation englobant toutes les acceptations mentionnées ci-avant.

²⁶ Définition qui devient, qui plus est, notre définition de référence de l'analogie dans ce mémoire.

2.2.1.4. Une typologie des analogies

Notre revue de la littérature nous a confrontés à bon nombres de typologies différentes tentant, avec plus ou moins de finesse, de classer les analogies en diverses catégories. Selon nous, deux typologies, intimement liées, méritent – puisqu’elles supportent le dispositif quasi-expérimental que nous vous proposons dans la suite de ce mémoire – d’être exposées au sein de cette section : la première permet une classification des analogies selon la nature des relations qu’elles proposent entre la cible et la source ; la seconde permet une classification des analogies selon les similitudes qu’entretiennent la cible et la source.

Ainsi, C. Plantin (2011) définit trois types d’analogies distinctes selon la nature des relations qu’elles instaurent entre la cible et la source :

- ✚ L’**analogie catégorielle** reliant « *deux êtres qui entrent (peuvent être intégrés) dans une même catégorie* » (Plantin, 2011, p. 117).
- ✚ L’**analogie de proportion** mettant « *en jeu quatre termes* » (Plantin, 2011, p. 117) ; chaque couple de termes étant relié par une relation – un rapport de proportion selon L. Dahan-Gaida (2011) et M.-D. Gineste (1997) – similaire. Selon Aristote (cité par Dahan-Gaida, 2011, p. 43), ces analogies peuvent aisément être résumées par le modèle suivant : « *un second terme est à un premier ce qu’un quatrième est à un troisième* ».

M. S. Vendetti, A. Wu et K. J. Holyoak (2014) distinguent les analogies de proportion selon la proximité sémantique de la relation qu’elles entretiennent entre elles. Ainsi, ils dissocient les **analogies sémantiquement proches** qui sont coordonnées par des relations identiques – comme, à titre d’exemple, les cordes sont à la guitare ce que les touches sont au piano (guitare : cordes ; piano : touches) – des **analogies sémantiquement éloignées** qui, elles, nécessitent l’évaluation et la production d’une relation abstraite entre les domaines – comme, à titre d’exemple, les cordes sont à la guitare ce que les touches sont au clavier d’ordinateur (guitare : cordes ; clavier : touches).

Ce type d’analogie a l’avantage, selon D. Gentner et B. D. Jee (2010, p. 41), de nous permettre de nous « *concentrer sur les propriétés relationnelles similaires indépendamment de la nature des éléments concernés* ».

- ✚ L’**analogie structurelle** reliant « *deux systèmes complexes partageant une même structure* » (Plantin, 2011, p. 117) ; elle « *repose sur la mise en relation (...) d’un nombre a priori indéfini d’objets ainsi que de leurs relations* » (Plantin, 2011, p. 117). Ce type d’analogies est une combinaison de l’analogie catégorielle et de l’analogie de proportion.

Quant à elle, M.-D. Gineste (1997) distingue les analogies substantielles des analogies formelles selon les similitudes qu’entretiennent la cible et la source :

- ✚ Les **analogies substantielles** relient des « cibles » et des « sources » possédant des propriétés communes.
- ✚ Les **analogies formelles** relient des « cibles » et des « sources » possédant des relations ou des fonctions similaires unissant les parties du domaine au domaine total.

Par conséquent, selon M.-D. Gineste (1997, p. 11), « *l'analogie repose essentiellement sur la similitude, similitude d'une propriété partagée ou similitude de la structure des relations* ». Dans ce cadre, d'autres chercheurs (Dunbar & Blanchette, 2001 ; Sander, 2000) distinguent les similitudes selon leur degré de profondeur :

- ✚ Les **similarités structurelles** – ou relationnelles, voire syntaxiques (Sander, 2000), selon l'auteur auquel on se réfère – font référence à une structure sous-jacente commune (Dunbar & Blanchette, 2001) entre le concept ou le phénomène cible et le concept ou le phénomène source
- ✚ Les **similarités superficielles** – ou de surface selon l'auteur auquel on se réfère – font référence aux « *contenus spécifiques de connaissance* » (Sander, 2000, p. 10) homologues entre le concept ou le phénomène cible et le concept ou le phénomène source. Selon Dunbar & Blanchette (2001), plus la distance entre les domaines cibles et sources est importante, moins des similarités superficielles peuvent relier la situation cible à la situation source.

De nombreuses études en sciences cognitives ont tenté de mettre en avant les circonstances dans lesquelles la pensée humaine favorise la création d'analogies de structure ou la création d'analogies superficielles. L'analyse des discours – qu'ils soient politiques ou journalistiques – entreprise par de nombreux chercheurs montrent une prévalence des similarités structurelles dans les analogies que nous utilisons au quotidien (Dunbar & Blanchette, 2001). Qui plus est, L. R. Novick (1988) souligna une relation positive étroite entre le degré d'expertise d'une personne et sa faculté de créer des analogies sur base de similarités de structure. Cependant, les études réalisées en laboratoire – comme à titre d'exemple les expériences de rappel analogique²⁷ – montrent, quant à elles, une primauté des similarités superficielles (Dunbar, 2001). Faisant le constat de ce paradoxe Dunbar (2001) ainsi que Dunbar et Blanchette (2001) mirent en avant l'impact crucial de la tâche demandée sur l'utilisation, par les sujets, d'analogies structurelles ou d'analogies superficielles. En effet, il semble que les tâches de production – tâches nécessitant de la part des sujets une réflexion plus approfondie – favorisent la création et l'utilisation d'analogies de structure (Blanchette & Dunbar,

²⁷ Ce type d'expérimentation peut se diviser en trois temps distincts :

1° L'expérimentateur lit quelques histoires « sources » au sujet.

2° L'expérimentateur lit une histoire « cible » au sujet.

3° L'expérimentateur demande au sujet de choisir, parmi les histoires lues lors du premier temps, celle qui, selon lui, ressemble le plus à l'histoire racontée lors du deuxième temps.

2000 ; Dunbar, 2001). Par contraste, les tâches de choix – demandant aux sujets de choisir parmi plusieurs sources une source pour une cible donnée – favorisent l'utilisation d'analogies superficielles (Dunbar, 2001).

Nous vous proposons, ci-dessous une schématisation des deux typologies d'analogies que nous venons de vous décrire.

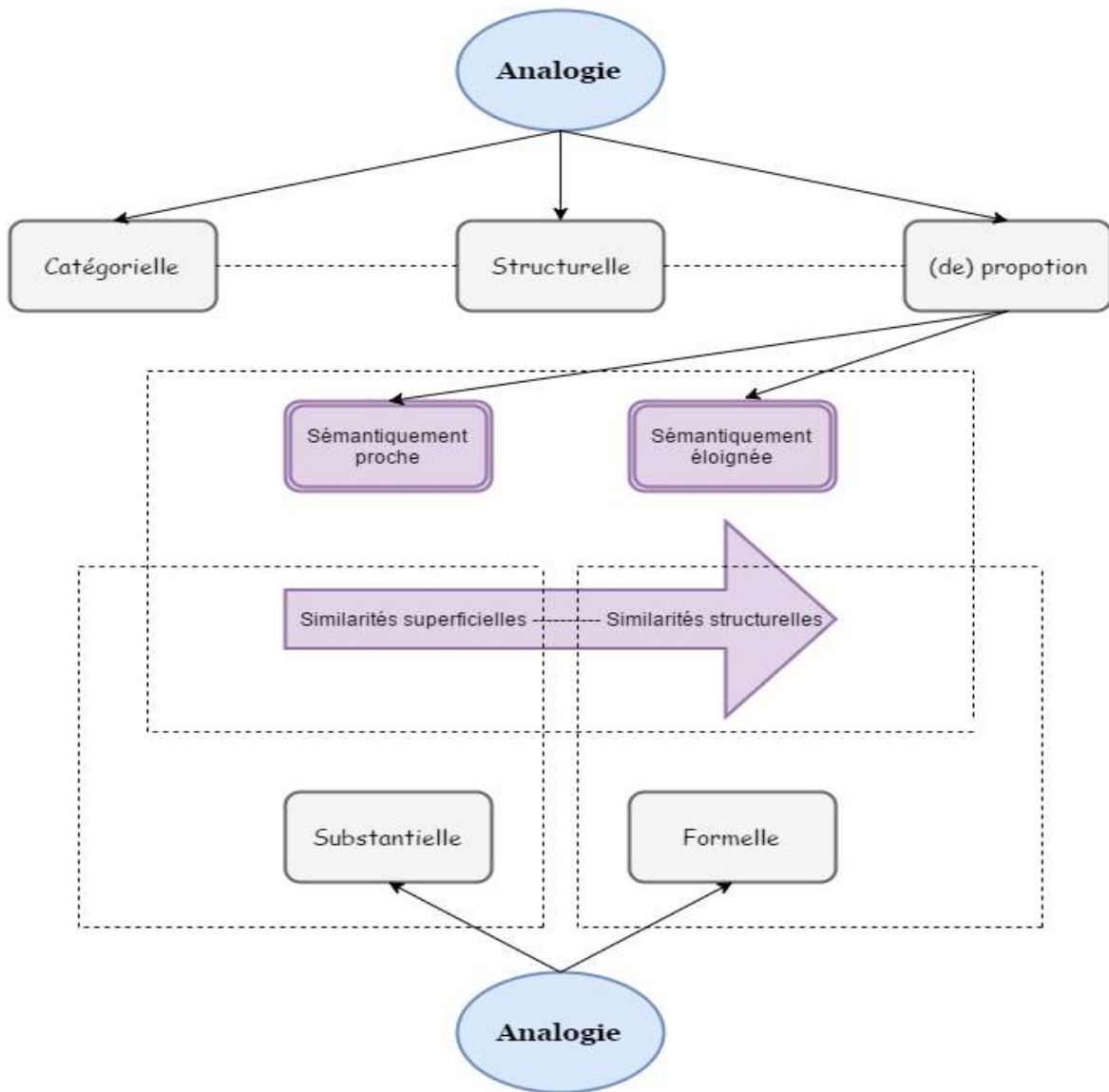


Figure 2: les deux typologies d'analogies (en haut selon la nature de la relation ; en bas selon la nature des similarités)

2.2.1.5. Le raisonnement par analogie

Afin de dépasser l'acceptation populaire de l'analogie et de rendre compte de son omniprésence dans les mécanismes de pensée inhérents à l'être-humain, les psychologues cognitifs vont parler de raisonnement par analogie. Selon Raynal et Rieunier (2014, p. 59), le raisonnement par analogie constitue un « *mode de raisonnement qui permet de comprendre un phénomène en faisant appel à la connaissance*

que l'on a d'un autre phénomène ». Ce raisonnement permet, en éclairant l'inconnu sur base du connu (Bean, Searles, Singer, Cowen, 1990 ; Schiavone, 2014) au moyen de similitudes (Borel, 2000), « de bénéficier, à faible coût cognitif, des acquisitions passées » (Sander, 2014, p. 346).

La présence d'un tel raisonnement au sein des mécanismes inhérents à la pensée humaine semble plaider en défaveur de « l'hypothèse initiale des théoriciens des sciences cognitives, qui pensaient pouvoir traduire facilement la pensée humaine sous forme de règles logiques » (Dortier, 2014, p. 13) ; la pensée humaine peut dès lors être appréhendée comme polymorphique afin de rendre compte de son fonctionnement sur base d'un ensemble de stratégies, plus ou moins fiables, qui ne sont qu'en partie réductibles aux règles logiques. A ce titre, R. J. Sternberg (2007, p. 476) ainsi que R. J. Sternberg et K. Sternberg (2012, p. 522) insistent sur le fait que « le raisonnement inductif²⁸ peut intervenir dans le raisonnement par analogie » ; constat qui, par la même occasion, souligne une nouvelle fois le caractère polymorphique de la pensée humaine.

Précisions que nous considérons, à l'instar d'E. Sander et de D. Hofstadter (2010) que l'usage du raisonnement par analogie ne rompt pas forcément avec la rationalité dont la pensée humaine peut être empreinte. En effet, même si « sur le plan des processus mentaux, l'usage de métaphores – et donc d'analogies – n'est pas un mécanisme strictement rationnel » (Sander & Hofstadter, 2010, p. 46), les résultats obtenus via ce type de processus peuvent, quant à eux, s'avérer tout à fait rationnels puisque, dans de nombreux cas, ils sont identiques à ceux obtenus sur base de raisonnements formels. Par conséquent, l'usage du raisonnement par analogie offre une alternative, moins coûteuse cognitivement parlant, au raisonnement logique formel. Notons, tout de même, que, contrairement au raisonnement logique formel, le raisonnement par analogie « offre peu d'assurance contre les vices cachés » (Sander & Hofstadter, 2010, p. 46).

2.2.2. L'analogie dans la rhétorique

2.2.2.1. Un bref retour historique sur la rhétorique

Dans sa brève historique de la rhétorique, J.-F. Dortier, J.-F. (2009) nous montre le passé tumultueux de cet art qui semble aujourd'hui avoir retrouvé ses lettres de noblesse auprès des l'intelligentsia. Depuis que les bases de la rhétorique²⁹ ont été posées par les auteurs antiques, de

²⁸ Selon R. J. Sternberg (2007, p. 455), le raisonnement inductif désigne « un processus de pensée qui s'appuie sur des faits ou des observations spécifiques pour aboutir à une conclusion vraisemblable pouvant expliquer les faits ».

²⁹ Michel Meyer (2014) dépeint largement ce qu'il présente comme les trois piliers de la rhétorique. Le premier, mis en avant par Aristote, est le « *Logos* » qui représente tout ce qui concerne le discours, la rationalité, le langage, la démonstration, le style et l'argumentation. Le second, le « *Pathos* », surtout mis en avant par Platon – Aristote le considérant comme subordonné au « *Logos* » –, se réfère aux valeurs, aux intérêts, aux émotions, aux affects et aux passions mobilisées. Le troisième, issu d'une approche typiquement romaine, est le « *éthos* » ; il s'appuie sur la vertu de l'orateur, son autorité, ses bonnes mœurs, ... Comme on vient de le voir, ces différents piliers ont été à tour de rôle mis en avant par différents savants ; l'un de ces piliers dominant les deux autres. Cependant, selon M. Meyer (2014, p.

nombreux « *Traité de rhétorique* » se sont succédé « *au fil des siècles* » ; ces traités « *ne feront que répertorier, classer, analyser les différents types d'arguments et de figures de style destinés à convaincre ou séduire un auditoire* » (Dortier, 2009, p. 66). Dès lors, tous ces traités furent l'entreprise de savants de plus en plus marginaux. Au fur et à mesure des siècles, l'art rhétorique s'est alors vu progressivement exclu du monde de l'enseignement ; seuls quelques spécialistes continuaient à en parler au sein de cercles restreints. Il faudra attendre 1958 pour que le philosophe et professeur de l'Université Libre de Bruxelles, Chaïm Perelman, associé à la sociologue Lucie Olbrechts-Tyteca écrivent le « *traité de l'argumentation : la nouvelle rhétorique* » ; relançant alors l'intérêt pour la rhétorique en y apportant une nouvelle vision. En effet, selon eux, la rhétorique constitue bien plus qu'un ensemble de procédés aiguisant l'éloquence ; l'argumentation devient dès lors un mode de pensée élémentaire et capitale inhérent à la nature humaine. Ainsi, cette conception de l'art rhétorique rapproche l'argumentation des processus cognitifs fondamentaux, mais aussi – à l'image de Lakoff et Johnson (1980) concernant précisément les métaphores – des modes de communication ordinaires. Rappelons que ce même rapprochement entre l'analogie, l'un des nombreux outils rhétoriques, et les processus cognitifs fondamentaux constitue le fondement³⁰ du cheminement qui nous occupe ici.

2.2.2.2. Les différentes figures rhétoriques usant de l'analogie

Selon Laurent Jenny (2003), les figures rhétoriques peuvent être classées selon « *la forme de relation qu'elles établissent entre les éléments qu'elles mettent en jeu* ». L'analogie constitue l'une de ces formes de rapport. Ainsi, elle « *régit des figures fondées sur des rapports de ressemblance à différents niveaux comme la paronomase, la métaphore, le parallélisme syntaxique, le pléonasm* » (Jenny, 2003). Ce constat étant fait, il nous semble pertinent d'explicitier, en quelques mots, chacune de ces figures.

- ✚ Selon le C.N.R.T.L. (2012), la paronomase est un « *procédé consistant à utiliser des paronymes³¹ de façon rapprochée* ». Dans ce cas, l'analogie permet d'établir une relation de ressemblance entre les phonèmes composant des mots disparates.
- ✚ Selon Dumarsais (cité par Perelman & Olbrechts-Tyteca, 2008, p. 534-535), la métaphore est un procédé consistant à transporter « *la signification propre d'un nom à une autre signification, qui ne lui convient qu'en vertu d'une comparaison qui est dans l'esprit* ». Ainsi, selon C. Plantin (2011, p. 122), « *en rhétorique, la métaphore est vue comme une analogie (...) condensée³²* » ; cette analogie

10), une nouvelle définition doit être donnée à la rhétorique ; selon lui « *l'éthos, le pathos et le logos sont à mettre sur pied d'égalité, si l'on ne veut pas retomber dans une conception qui exclue les dimensions constitutives de la relation rhétorique* ».

³⁰ Comme en attestent les définitions proposées auparavant.

³¹ Le terme paronyme désigne un mot « *qui présente avec un autre mot une certaine analogie phonétique, mais sans avoir le même sens* » (Trésor de la Langue Française Informatisé, n.d.).

³² Marie-Jeanne Borel (2000, p.7) dira d'ailleurs que « *l'analogie (...) a la métaphore pour fond, tout en étant davantage qu'une métaphore* ».

condensée oblige le partenaire, sur base d'un mécanisme de co-constuction avec l'orateur, à s'activer cognitivement afin d'interpréter et de conclure (Meyer, 2014) le rapport existant entre les éléments. La métaphore peut mener jusqu'à l'identification (Plantin, 2011).

- ✚ Selon Jenny (2003), « le parallélisme³³ *dédoublé des constructions syntaxiques analogues appliquées à des contenus différents* ». Ce procédé semble, selon Molino (1981), largement répandu en poésie. Ici, l'analogie permet d'établir une relation de ressemblance grammaticale entre deux énoncés différents de par leur contenu.
- ✚ Selon A. Berrendonner (1997, p. 76), « le pléonasme *tient (...) du fait qu'une position syntaxique se trouve occupée simultanément par deux titulaires* ». Autrement dit, le pléonasme consiste en la « répétition d'une idée à l'aide des mêmes mots ou d'expressions de même sens » (Jenny, 2003) ; ainsi selon Beauzée, (1765) par le pléonasme, on insère dans le discours « *quelque mot qui est inutile pour le sens, et qui étant ôté, laisse le sens dans son intégrité* ». Dans ce cas, l'analogie régit un rapport de similitude entre deux mots (ou expressions) syntaxiquement identiques si bien que la suppression de l'un des deux éléments ne modifierait aucunement le sens du discours.

2.2.2.3. La rhétorique, l'analogie et les processus cognitifs

Cette incursion, certes très synthétique, par le domaine de la rhétorique nous semblait un passage obligatoire dans l'exposé qui nous occupe. En effet, d'une part, cela nous permet de mettre en avant que l'analogie, régissant un bon nombre de figures rhétoriques, constitue un concept central de l'art rhétorique. D'autre part, comme nous l'avons vu, de plus en plus de chercheurs, comme par exemple Chaïm Perelman (Weinberg, 2009), considèrent l'argumentation³⁴ comme un mode de pensée et de communication élémentaire et capitale pour l'être-humain³⁵. En effet, l'Homme utilise des arguments, des faits et des valeurs – et pas seulement la logique – afin de prendre des décisions, de faire des choix, de fonder ses opinions, de construire ses conclusions, ... (Weinberg, 2009). Ces deux constats nous mènent à conforter notre thèse – soutenue jusqu'à présent par les différentes définitions que nous avons apportées de l'analogie³⁶ – selon laquelle l'analogie, et plus largement la rhétorique (Weinberg, 2009), prend une part importante dans les processus cognitifs inhérents à la nature humaine... Mais quels sont ses rôles ?

³³Aussi connu sous la dénomination « hypozeux ».

³⁴ Michel Meyer (2014 p.19) considère que les domaines de la rhétorique et de l'argumentation doivent aujourd'hui être unifiés au sein d'une seule et unique discipline.

³⁵ Dans un entretien avec le journaliste Roger-Pol Droit du journal « Le Monde » (2008), Michel Meyer ira jusqu'à qualifier la rhétorique comme étant la « *nouvelle matrice des sciences humaines* ».

³⁶ A ce titre, A. Weinberg (2009, p. 34) dira que « *la pensée repose pour l'essentiel sur des images métaphoriques assemblées par des chaînons d'arguments* ».

2.3. Le(s) rôle(s) de l'analogie dans la cognition

2.3.1. Introduction

« Pourtant, si l'être est objet formel de l'intelligence et si sa connaissance joue nécessairement dans toute notre vie intellectuelle, il faut bien que ça soit par rapport à cette analogie essentielle, primordiale (...) que se définissent et se caractérisent les autres modes de notre connaissance » (Jacques, 1935, p. 531).

Des propos tenus par J. Jacques en 1935, nous comprenons que c'est par l'analogie – dans ce cas de l'« être » – que peuvent se mettre en place d'autres modes de connaissance. Par extension, cela nous mène à penser que l'analogie, considérée comme mode de raisonnement, influence diverses activités cognitives. Cette conception de l'analogie se rapproche de celle avancée par Lee-Jahnke (2005, p. 365 ; faisant référence à Nguyen-Xuan, 1990) ; selon lui le raisonnement par analogie joue un rôle essentiel dans quatre sortes d'activités cognitives : « *la compréhension, le raisonnement, la résolution de problème et l'apprentissage* ». Nous ajouterons à ces activités cognitives la mémorisation, le transfert, la catégorisation et l'abstraction – deux processus centraux dans l'analyse du raisonnement par analogie offerte par E. Sander (2000 ; 2014) et D. Hofstadter & E. Sander (2013 ; 2014) – ainsi que le raisonnement relationnel, la création et le célèbre duo « assimilation-accommodation » énoncé par Jean Piaget.

Nous vous proposons en fin de cette revue de la littérature un tableau de synthèse des principales études reliant l'analogie aux processus cognitifs relatifs à l'apprentissage, ainsi que, plus précisément, à la mémorisation, à la compréhension, et au transfert.

2.3.2. Analogie et apprentissage

2.3.2.1. Outil pour l'enseignant, mécanisme pour l'apprenant

Comme le rappellent Laurent Fillettaz, Ingrid de Saint-Georges et Barbara Duc (2006), l'analogie – en tant que raisonnement, mais aussi en tant que figure rhétorique – est omniprésente dans les situations éducatives et de formations professionnelles.

En effet, de multiples exemples d'analogies utilisées par les enseignants, les formateurs, ou même les apprenants – et ce de façon totalement intuitive – lors de phases d'apprentissage-enseignement nous viennent assez facilement et rapidement à l'esprit : le diagramme circulaire est souvent comparé à une tarte ou à un fromage lors de l'apprentissage de son utilisation ; l'action de diviser est souvent comparée par les enseignants à l'action de découper (une tarte, un gâteau, ...), comparaison qui semble parfois faciliter l'usage de l'opération arithmétique³⁷ élémentaire de

³⁷ A ce titre, en 2016, une étude menée par F. Bastid et S. Nogry montre, sur base d'une analyse qualitative de données filmées lors de séances de cours de mathématiques, que, dès l'école fondamentale, des initiatives venant des enseignants permettent la sollicitation et l'élaboration spontanée d'analogies par les élèves.

division ; le concept d'intensité du courant électrique est souvent comparé, par les professeurs de sciences, à un petit train^{38 39} afin de permettre aux étudiants de visualiser le fait que dans un circuit en série l'intensité du courant électrique est la même en tout point et est directement dépendant de l'énergie disponible ; ...

Ces exemples, parmi tant d'autres⁴⁰, démontrent que les enseignants et les formateurs, en usant d'analogies, « *invoquent souvent des concepts et des pratiques qui diffèrent de celles qui sont directement saillantes dans la situation* » (Filliettaz et al., 2006, p.1) d'apprentissage dans le but d'aider les apprenants à s'approprier les concepts abstraits enseignés, les gestes techniques et les savoir-faire au cœur des séquences d'enseignement ainsi que les propriétés intrinsèques des objets ou des phénomènes étudiés.

A l'instar de Filliettaz et al. (2006), nous avons décidé de scinder les rôles de l'analogie dans les domaines liés à l'éducation en deux orientations : la première s'attarde au rôle de l'analogie dans les processus d'apprentissage ; la seconde, quant à elle, tente de discerner en quoi l'analogie peut constituer une ressource pour l'enseignant ou le formateur. En d'autres termes, nous nous attarderons, alternativement, au rôle de l'analogie chez l'apprenant et au rôle de l'analogie pour l'enseignant ou le formateur. Après la présentation de ces deux orientations, nous discuterons brièvement sur le rôle de l'analogie dans la circulation des savoirs.

2.3.2.2. Le rôle de l'analogie dans les processus d'apprentissage

L'analogie – et le raisonnement par analogie – nous permet de lier le nouveau à l'ancien (Clement & Gentner, 1991 ; Gentner, 1989 ; Holyoak et Koh, 1987) ; plus précisément, par l'analogie nous construisons nos nouvelles connaissances – connaissances étant ici pris au sens large et, dès lors, regroupant des savoirs aussi bien déclaratifs que procéduraux ou conditionnels – en les mettant en relation avec nos connaissances pré-acquises (Filliettaz et al., 2006). Ceci n'est pas sans rappeler le postulat constructivisme de l'assimilation-accommodation énoncé par Jean Piaget (Bourgeois, 2011 ; Bourgeois & Nizet, 2014 ; Crahay, 2013).

³⁸ Edith Saltiel (2008) propose un bel article sur le site de la fondation « la main à la pâte » qui explique de manière plus complète et plus profonde cette analogie du « petit train ».

³⁹ De nombreuses autres analogies ont été créées et utilisées par des professeurs de sciences dans le but de permettre aux étudiants de visualiser les phénomènes invisibles relatifs à l'électricité ; le rapport de recherche de l'Université de Mons (Gillis, Lo Bue, Mélin, Demeuse, Dehon, Demierbe, Derobermeasure, n.d.) en décrit quelques-unes de manière synthétique et intelligible.

⁴⁰ Si vous souhaitez dénicher d'autres exemples d'analogies pouvant être utilisées à des fins d'enseignement ou d'apprentissage, nous vous suggérons de feuilleter l'ouvrage de Joel Levy (2012) « 100 analogies étonnantes pour comprendre les grandes théories scientifiques » ainsi que l'étude d'Ioana Magda (2015) présentant des analogies utilisées par des enseignants dans le cadre des cours de géométrie.

En effet, comme le souligne J.-F. Richard (2000, p. III), l'analogie « *présente deux aspects, assimilation et accommodation, pour utiliser le langage piagétien* ».

- ✚ L'assimilation peut être définie comme l'appréhension d'éléments nouveaux ou d'informations nouvelles au sein d'une matrice d'accueil ; cette matrice n'étant pas modifiée par les nouveaux apports (Bourgeois & Nizet, 2005).
- ✚ L'accommodation, quant à elle, désigne un phénomène d'assimilation durant lequel la structure d'accueil est modifiée lors de l'appréhension d'éléments nouveaux ou d'informations nouvelles (Bourgeois & Nizet, 2005 ; Rossi, 2014).

Ainsi, si une analogie entre deux éléments peut être à l'origine d'un processus d'assimilation – permettant à la source (« *phore* ») d'appréhender, sans être modifiée, les éléments de la cible (« *thème* ») – ou d'un processus d'accommodation – permettant à la source (« *phore* ») d'appréhender, sur base d'une modification interne, les éléments de la cible (« *thème* ») –, nous pouvons faire l'hypothèse que l'explicitation d'analogies entre deux éléments ou deux situations peut, en favorisant la mise en place de ces deux processus mentaux, augmenter l'efficacité des apprentissages. Dans le même ordre d'idée, Anh Nguyen-Xuan (1995) fait de l'analogie un mécanisme cognitif d'apprentissage à part entière. En effet, selon cette auteure, une connaissance nouvelle ou une situation nouvelle peut être appréhendée, voire assimilée ou apprise, sur base de connaissances déjà-acquises, de représentations d'un objet, d'une situation ou d'un domaine connus et donc, plus précisément, sur base d'analogies.

2.3.2.3. L'analogie une ressource pour le formateur-enseignant

L'analogie peut également être une ressource pour le formateur ou l'enseignant afin d'optimiser son enseignement. Dans ce cadre, le formateur ou l'enseignant peut, s'il le souhaite, susciter une analogie chez ses apprenants pour leur permettre de faire des liens entre le contenu d'enseignement et l'expérience réelle de l'étudiant (Fillietaz et al., 2006).

Qui plus est, les analogies peuvent servir de support à l'enseignant pour construire au sein de son groupe d'apprenants des compréhensions mutuelles et des domaines communs de savoirs (Fillietaz et al., 2006). Fillietaz et al. (2006) parleront d'ailleurs de processus social et interactionnel de l'analogie pour rendre compte de cette réalité : même si le formateur ou l'enseignant est à l'origine de l'analogie, celle-ci est ensuite co-construite progressivement et collectivement par les apprenants au sein de leurs interactions (verbales ou non-verbales). C'est dans ce cadre que ces chercheurs concluront que l'analogie peut devenir un processus collectif et dynamique. Dès lors que cette co-construction progressive et collective se met en place entre les étudiants, chaque apprenant devient capable de s'approprier l'analogie (Fillietaz et al., 2006).

Selon S. Supasorn et V. Promarak (2015), le modèle **FAR** (Focus, Action, Reflection) est l'un des modèles d'enseignement usant de l'analogie qui est le plus connu ; il propose une utilisation en classe de cette dernière divisée en trois temps distincts :

- ✚ **Focus** (mise au point) : préalablement à la leçon, l'enseignant ou le formateur étudie la complexité et le degré de familiarité pour les étudiants du concept au cœur de l'apprentissage escompté, mais aussi de l'analogie qui sera proposée pour supporter cet apprentissage.
- ✚ **Action** : l'enseignant propose l'analogie aux étudiants tout en les aidant à identifier les similarités et les différences entre la source et la cible de cette dernière.
- ✚ **Reflection** (réflexion) : l'enseignant tire des conclusions relatives à l'implémentation du concept source afin d'éclaircir le concept cible et ce au regard de critères tels que sa clarté, son utilité, ...

2.3.2.4. Le rôle de l'analogie dans la circulation des savoirs

M. Quet (2014) distingue trois éléments soulevés par la circulation des savoirs : « quels éléments circulent ? » ; « comment circulent-ils ? » ; « quelle est la nature des savoirs qui circulent ? ». Pour lui, l'analogie, par le saut explicatif d'un domaine à l'autre qu'elle permet – c'est-à-dire « *par le recours à un concept appartenant à une autre discipline ou par la formation d'outils conceptuels* » (Quet, 2014, p. 223) – joue un rôle important dans l'interdisciplinarité et « *dans la construction de champs de connaissances à la limite de différentes pratiques disciplinaires* » (Quet, 2014, p. 233). Autrement dit, l'analogie joue un rôle prépondérant dans la circulation des savoirs au sens large.

2.3.2.5. En guise de conclusion

La conclusion de E. Sander (2014, page 353) nous semble séduisante afin de clôturer ce point :

« le double statut de l'analogie relativement à l'apprentissage apparaît clairement : elle est tout à la fois support d'apprentissage en fournissant une notion nouvelle, et obstacle à l'apprentissage car elle se substitue à la notion à acquérir y compris dans des dimensions non pertinentes ».

2.3.3. Analogie et mémorisation

2.3.3.1. La mémorisation, qu'est-ce ?

Selon le Centre National de Ressources Textuelles (2012), la mémorisation constitue la « *fonction de la mémoire par laquelle le sujet fixe les phénomènes vécus, les connaissances diverses, etc. soit spontanément, soit à l'aide de procédés mnémotechniques ou méthodiques* ». La mémoire, quant à elle, est définie par R. J.

Sternberg⁴¹ (2007, p. 578) comme le « *moyen par lequel l'individu exploite ses connaissances passées pour les utiliser dans le présent* » ; ainsi par la mémoire on entend un système fonctionnant sur base d'une dialectique entre la rétention d'informations encodées par nos systèmes perceptifs et la récupération de ces informations. La recherche contemporaine nous permet de définir et de modéliser différents types et différents registres de mémoire. Dans le cadre d'une recherche relative aux apprentissages scolaires, c'est essentiellement l'encodage et la récupération des informations en mémoire à long terme qui nous intéresse. Précisons que, selon J.-P. Rossi (2005, p. 30), la mémoire à long terme peut être définie comme un système pouvant stocker l'information sur une durée « *allant de quelques heures à plusieurs années* »⁴². Cette mémoire est divisible en trois registres distincts : la mémoire procédurale (stockant des savoir-faire aussi bien perceptivo-moteurs que cognitifs), la mémoire déclarative (stockant les connaissances encyclopédiques et sémantiques) et la mémoire autobiographique (stockant les événements de la vie personnelle de l'individu).

2.3.3.2. Des études liant l'analogie et la mémorisation

P. R. J. Simons (1984), utilisant une analogie entre la structure moléculaire (cible) et un biscuit émietté (source), a montré l'efficacité de l'analogie dans les processus de mémorisation et d'élaboration des schémas mentaux des étudiants. Pour cela, Simons a comparé un groupe expérimental ayant reçu des instructions verbales sur l'emploi d'un texte analogique ainsi qu'un texte présentant la structure moléculaire étayée par l'analogie du biscuit émietté à un groupe contrôle composé d'étudiants ayant reçu des documents ordinaires de cours.

Dans le même ordre d'idée, les études menées par Glynn et Takahashi (1998) ont montré que les analogies qu'ils qualifient d'élaborées avaient, quel que soit l'âge des sujets participant et leur niveau d'étude, un effet positif sur la mémorisation - à moyen (quelques minutes après avoir été confronté au matériel à apprendre) et à long terme (deux semaines après avoir été confronté au matériel à apprendre) - d'un matériel textuel scientifique relatif aux caractéristiques et au fonctionnement de la cellule. Pour qu'une analogie puisse être qualifiée d'"élaborée", elle doit revêtir deux caractéristiques différentes. D'une part, elle doit mettre systématiquement en correspondance les caractéristiques de la cible avec les caractéristiques analogues de la source. D'autre part, un schéma doit soutenir cette mise en correspondance verbale et/ou textuelle. Selon ces auteurs, c'est seulement à ce prix qu'une analogie permet aux processus verbaux et aux processus visuels sollicités

⁴¹ La ressemblance entre cette définition de la mémoire et les définitions que nous vous avons proposées pour l'analogie est plutôt frappante.

⁴² Précisons que pour de nombreux auteurs, le stockage en mémoire à long terme aurait un caractère définitif (sauf si le sujet possède des troubles pathologiques) ; dès lors, l'oubli serait surtout le résultat de difficultés ou d'interférences lors de la récupération des informations (J.-P. Rossi, 2005).

lors d'un apprentissage de se supporter mutuellement et, par voie de conséquence, d'avoir une réelle plus-value au niveau de la mémorisation.

Les résultats des études menées par McDaniel et Donnelly (1996) sont consistants avec ceux des études de Glynn et Takahashi (1998). En effet, après avoir constaté que l'analogie pouvait promouvoir le transfert et la pensée déductive⁴³, mais parfois au déterminant de la mémorisation – ce que l'étude menée par Hammadou (2000) démontre également – et de l'apprentissage factuel⁴⁴, McDaniel et Donnelly (1996) ont montré qu'associée à une étude complémentaire (un schéma ou une mise en avant des faits essentiels), l'analogie pouvait, tout en continuant à promouvoir la pensée déductive, encourager l'apprentissage factuel⁴⁵. Autrement dit, quand l'analogie est placée dans une situation encourageant l'apprenant à se concentrer sur des détails factuels, elle favorise l'avènement de processus cognitifs déductifs et relationnels, mais aussi des processus cognitifs complémentaires de mémorisation (voire de compréhension) factuelle. Par contre, quand cette même analogie n'est pas placée dans une telle situation, elle continue à favoriser l'avènement de processus cognitifs déductifs et relationnels, mais sans promouvoir l'apprentissage factuel.

Quant à lui, Fayol (2011) fait de la mobilisation d'analogies vis-à-vis des tâches ou des ensembles de connaissances en jeu lors des phases d'apprentissage un déterminant de leur mémorisation. Pour cela, il part du constat que la pratique répétée d'une activité est l'un des déterminants majeurs de l'amélioration des performances du sujet (en termes de vitesse d'exécution, de capacité attentionnelle allouée à l'exécution, au nombre d'erreurs résultant de l'exécution). Selon cet auteur, cette amélioration des performances du sujet s'explique par l'augmentation du temps d'entraînement de ce dernier ; cette augmentation du temps d'entraînement permet aux sujets de créer des mises en relation et de mobiliser des analogies relatives aux tâches ou aux connaissances à apprendre. Cette démonstration (Fayol, 2011) plaide en faveur de l'efficacité des analogies sur les processus d'apprentissage et, notamment, sur les processus mémoriels.

2.3.4. Analogie et compréhension

2.3.4.1. La compréhension, qu'est-ce ?

Selon F. Raynal et A. Rieunier (2014, p. 145), l'action de « comprendre » consiste à « *donner à une situation un sens qui permette d'agir pour résoudre de façon pertinente, le problème posé par ladite situation* » ; ce problème pouvant soit être de nature épistémique (approfondissement de ses savoirs et de ses

⁴³ Nous y reviendrons par la suite par souci de structure.

⁴⁴ Ce qui s'avère en accord avec une étude menée par Mc Daniel & Einstein (1989) qui ont montré qu'un matériel textuel invitant le sujet à solliciter des processus de mises en relation et de déduction a tendance à dissimuler, des yeux du sujet, les faits et éléments spécifiques et détaillés.

⁴⁵ Apprentissages de faits, d'éléments, ... spécifiques et détaillés.

connaissances afin de construire une représentation pertinente de la situation), soit de nature pratique (perception des liens entre des variables, des causes et des conséquences, permettant à l'individu d'agir adéquatement et, par voie de conséquence, de résoudre le problème sur base d'une représentation pertinente de la situation).

2.3.4.2. Une situation liant analogie et compréhension

Un exemple qui nous paraît des plus pertinents pour illustrer le lien possible entre le raisonnement analogique et les processus de compréhension nous est donné par une expérience que nous avons tous déjà connue au cours de notre vie : la lecture, au sein d'un texte, d'un mot qui nous est jusqu'alors inconnu et que nous ne comprenons, logiquement, pas. Certes, dans ces cas des dictionnaires existent pour nous donner une définition explicite de ce terme, mais, dans de nombreux cas, nous n'y faisons pas appel, nous choisissons une méthode qui nous semble moins énergivore : l'analogie. En effet, nous allons remettre ce mot dans le contexte textuel dans lequel nous l'avons rencontré – que ça soit au sein de la phrase ou du paragraphe duquel il est issu – et allons sur base de cette mise en contexte et de nos connaissances actuelles (la source) tenter de déduire la définition du mot (la cible).

2.3.4.3. Des études liant l'analogie et la compréhension ?

Bon nombre d'études tentent de quantifier et de qualifier les bienfaits de l'analogie sur les processus de compréhension. Malheureusement, les résultats présentés par ces études restent assez contrastés.

Comme le montre notre exemple, nos compétences relatives à la compréhension à la lecture sont intimement liées à nos capacités analogiques. En effet, selon Paulson (2014), la compréhension d'un texte nécessite une continuelle mise en relation entre nos connaissances passées, les connaissances préalablement acquises au sein du texte et les connaissances que nous emmagasinons dans la partie du texte que nous sommes en train de lire. De manière plus concise, la compréhension d'un texte dépend de nos schémas mentaux de connaissances et des mises en lien que nous faisons entre eux et l'information que nous lisons ; il n'est pas un hasard que cette conception de la lecture se rapproche fortement des définitions que nous avons apportées des processus analogiques de la pensée. Afin de prouver cet impact positif des analogies sur la compréhension à la lecture, E. J. Paulson mena deux études distinctes.

D'abord, Paulson (2014) mit en place un dispositif expérimental destiné à souligner l'impact positif des processus analogiques sur la compréhension à la lecture. Comparant statistiquement la compréhension d'étudiants vis-à-vis d'un texte sans analogie à celle d'étudiants vis-à-vis d'un texte supporté par une analogie – selon deux conditions distinctes, l'analogie étant proposée avant la

lecture du texte ou pendant la lecture du texte – E. J. Paulson (2014) mit en avant une supériorité de compréhension pour les étudiants ayant bénéficié d'une analogie tout au long du texte. Néanmoins, il souligna également le caractère contreproductif de l'analogie quand celle-ci est proposée avant la lecture du texte.

Dans la même optique que cette étude, D. A. Hayes et R. J. Tierney (1982) montrèrent que des analogies entre le base-ball – un domaine connu et familier des étudiants de l'Université de Californie – et le cricket aident les étudiants à comprendre des textes relatifs au cricket ; ce sport possédant de nombreux points communs avec le base-ball, mais étant nettement moins familier et plus rarement pratiqué par les étudiants. Dans la continuité de ces travaux, S. Supasorn et V. Promarak (2015) soulignèrent une évolution significative de la compréhension des concepts liés à la cinétique chimique⁴⁶ – autrement dit liés à la vitesse des réactions chimiques – par des étudiants de 16 à 17 ans, lorsque la méthode d'enseignement, utilisée par le professeur, est inspirée des approches analogiques de l'apprentissage.

Ensuite, E. J. Paulson (2014) mit en place un second dispositif expérimental qui, quant à lui, était destiné à prouver son intuition relative à la place préminente de l'analogie dans la prononciation de mots lus qui sont inconnus des sujets. Dans ce cadre, il compara la lecture, par des lecteurs faibles et expérimentés, de mots inconnus selon une double condition : 1) la lecture des mots cibles inconnus est précédée ou suivie de la lecture de mots sources connus ; 2) la lecture de mots est réalisée à travers une liste de mots ou à travers un texte. Grâce à cette expérimentation, il montra une différence significative et qualitative de l'utilisation de processus analogiques en faveur des mots ou du texte cible(s) lus après la lecture des mots ou du texte source(s) ; aucune différence significative étant observée entre les conditions « mots » et les conditions « texte ». Ainsi, on peut conclure que les lecteurs, faibles ou expérimentés, ont tendance à utiliser des processus analogiques afin de prononcer les mots inconnus en les reliant aux mots qu'ils connaissent déjà ; il semble même que ces processus analogiques soient davantage pris en considération que ceux issus du déchiffrement selon les règles de correspondance qualifiées de graphophonétique (Giasson, 2004 ; Giasson, 2012).

Ces études semblent plaider en faveur de la thèse de Paivio (1971, 1986 ; cité par Gineste & Gilbert, 1995) selon laquelle les analogies permettent aux apprenants d'illustrer, de visualiser, de rendre vivant (Bean, Singer, Cowan et Richaudeau, 1986), de se représenter – plus ou moins concrètement – les phénomènes ou les concepts cibles sur base des phénomènes ou concepts sources. Qui plus est, il semble que les analogies préparent et activent cognitivement les apprenants en leur procurant

⁴⁶ Selon R. Justi (2013), la cinétique chimique, domaine nécessitant de nombreux calculs et variant sur base d'une multitude de facteurs, est l'une des matières les plus compliquées à comprendre lors de l'apprentissage de la chimie.

un univers sémantique et imagé supplémentaire, ce qui leur permet d'assimiler des concepts nouveaux et complexes et les représentations qui leur sont associés (Gineste & Gilbert, 1995). Ces deux éléments semblent être l'origine de l'amélioration des performances d'étudiants auxquels on propose des analogies.

Cependant, les résultats de ces études se doivent d'être relativisés au regard d'autres recherches. En effet, après avoir étudié le sentiment de compréhension des étudiants – autrement dit la méta-compréhension – auxquels ils ont proposé des analogies éducatives et après avoir comparé leur sentiment de compréhension à leur compréhension effective du phénomène, A. J. Jaeger et J. Wiley (2015) – à l'instar de S. Hidi (1990) – ont mis en avant le caractère illusoire (Hammadou, 2000) du sentiment de compréhension des étudiants vis-à-vis d'un phénomène expliqué par une analogie. En effet, il semble que, confrontés à une analogie visant à faciliter la visualisation d'un concept ou d'un phénomène complexe, les étudiants développent un sentiment de sur-confiance quant à leur compréhension (Glynn & Takahashi, 1998) de ce concept ou de ce phénomène. Ce sentiment de sur-confiance peut être la conséquence d'une évaluation de la méta-compréhension par les étudiants se basant sur des signaux autres que leur compréhension effective, comme, à titre d'exemples, le sentiment de plaisir et d'intérêt qui se dégage pour l'analogie ou le sentiment d'aisance vis-à-vis du processus d'apprentissage facilité par l'analogie.

Dès lors, la co-existence d'études relevant un effet positif des analogies sur la compréhension avec des études relevant un effet plus contrasté nous permet de conclure, à l'instar d'E. J. Paulson (2014) par un bénéfice conditionnel de l'analogie sur les processus de compréhensions ; conditions qu'il s'avère primordiale de préciser à travers de futures recherches.

2.3.4.4. Des conditions d'efficacité sur la compréhension

Ayant conclu par une plus-value conditionnelle de l'analogie sur les processus de compréhension, il s'avère nécessaire désormais de recenser les conditions, déjà mises en avant par la recherche scientifique, régissant l'efficacité de l'analogie sur ces processus (Donnelly & McDaniel, 2000).

Ainsi, selon A. Schiavone (2014), il ne suffit pas qu'une analogie mette en avant les similarités entre la cible et la source pour permettre la compréhension d'un phénomène – dans son cas précis d'un phénomène historique –, il est également primordial que l'analogie permette l'exploration de ses propres limites, des différences qui demeurent entre la cible et la source. A ce titre, Gillis et al. (n.d.) insistent sur l'importance, pour que les avantages d'une analogie prennent le pas sur ses inconvénients, que ses limites touchent des points et des caractéristiques superficiels – et non essentiels – des concepts ou phénomènes mis en relation. Dans cette optique, l'analogie ne doit pas

se dresser comme un « *obstacle épistémologique* » (Gillis et al., n.d., p. 20) au développement de savoirs plus profonds.

Qui plus est, selon Vosniadou & Ortony (1983), l'efficacité d'une analogie dépend intimement de la connaissance des étudiants quant au domaine source de celle-ci. En effet, si l'analogie relie le domaine cible à un domaine source duquel l'étudiant possède une bonne connaissance voire une bonne expérience personnelle, elle risque d'être plus efficace pour cet étudiant que pour un étudiant qui ne possède pas une bonne connaissance du domaine source ou des expériences passées relatives à ce domaine. Donnelly et McDaniel (1993 ; 2000) complexifie cette vision de l'impact des connaissances passées du sujet sur l'efficacité d'une analogie. En effet, ces auteurs distinguent différentes situations analogiques. Selon eux, pour un expert, l'analogie peut : 1) être non-nécessaire et donc n'avoir aucun effet si l'expert parvient, seul, à relier le nouveau matériel à ses connaissances antérieures ; 2) être bénéfique si l'expert ne parvient pas, seul, à faire le lien entre le nouveau matériel et ses connaissances antérieures⁴⁷ ; 3) être néfaste si elle induit l'expert en erreur, simplifie fortement la cartographie des connaissances relatives au nouveau matériel ou bien encore empêche le rappel de connaissances antérieures plus pertinentes et plus adaptées afin d'appréhender ce nouveau matériel. En outre, cette troisième situation fait l'objet de l'une de leurs études (Donnelly & McDaniel, 1993) ; cette étude⁴⁸ montre que dans certains cas l'analogie peut être bénéfique pour les novices et constituer un frein à l'apprentissage des experts qui ont plus de connaissances sur la cible. Ces résultats semblent s'insérer dans la continuité de ceux obtenus par Spiro, Feltovich, Coulson et Anderson (1989) selon lesquels le nombre d'analogies proposées au sujet a un impact sur sa compréhension du matériel cible. En effet, dans cette perspective, le novice pourrait bénéficier d'une (ou de plusieurs analogies) afin de comprendre la matériel cible. Quant à l'expert, les différentes analogies qui lui seraient proposées lui permettraient de faire un choix, d'obtenir une cartographie plus complexe du matériel cible et maximiseraient, par la même occasion, les chances que ce dernier relie le matériel à ses connaissances antérieures les plus pertinentes et les plus adaptées.

Dans la même optique que ces travaux, Donnelly et McDaniel (2000) ont tenté de déterminer les causes probables d'une telle différence dans l'efficacité d'une analogie proposée successivement à

⁴⁷ Que ça soit à cause de la difficulté de percevoir la relation existante entre le matériel à apprendre et ses connaissances antérieures ou à cause du fait qu'il aurait compartimenté ses expériences passées de telle façon à ne pas pouvoir les mettre en relation.

⁴⁸ Dans le cadre de cette étude, les sujets ont été invités à répondre à des questions sur des éléments factuels ou à des questions d'inférence après avoir été confrontés à un matériel à apprendre sous un format analogique ou sous un format littéraire.

des novices vis-à-vis du domaine cible et à des experts vis-à-vis de ce même domaine. Leur étude⁴⁹ montre que l'effet de l'analogie dépend de la mesure dans laquelle les apprenants peuvent « *directement reliés leurs connaissances antérieures au matériel à apprendre* » (Donnelly & McDaniel, 2000, p. 540). En effet, quand le matériel est présenté de telle façon que les liens entre les connaissances antérieures du sujet et le domaine dont est issu le matériel soient complexes à cerner – à cette fin, les auteurs proposent d'insérer le matériel dans un univers non-familier voire inconnu du sujet –, l'analogie augmente de façon significative la compréhension du matériel par le sujet. Pour les « novices », cela va dans le sens de toutes les études qui ont été menées jusqu'à présent ; en effet, les « novices » ne connaissant pas grand-chose du domaine cible, les liens qu'ils peuvent réaliser entre celui-ci et leurs connaissances antérieures sont, en toute logique, difficiles à cerner pour eux, ce qui rend l'analogie efficace pour soutenir leur compréhension du domaine cible. Pour les « experts », ces résultats soulignent une explication potentielle des différences en termes d'efficacité des analogies sur leur compréhension. Face à un domaine cible connu et plongé dans un univers familier, l'apprentissage du matériel par les experts est perturbé par l'analogie puisque dans cette situation les liens entre les connaissances antérieures des experts et le matériel sont facilement cernables. Selon Donnelly et McDaniel (2000), ces résultats peuvent être expliqués de deux façons distinctes : 1) l'analogie souligne des éléments non-pertinents pour l'expert qui se concentre alors sur ces éléments au lieu de se concentrer sur le matériel cible ; 2) l'analogie, en présentant le concept cible relié au concept source, favorise l'intégration d'éléments issus de la source au sein de la cible ce qui peut mener l'expert à une compréhension inexacte de la cible. Par contre, face à un domaine cible connu, mais plongé dans un univers non-familier, l'expert est repositionné comme un novice pour qui, ayant des difficultés à faire la liaison entre ses connaissances antérieures et le matériel, l'analogie constitue un procédé efficace dans le but d'aiguiser sa compréhension du matériel cible. De ces résultats, on peut conclure, à l'instar de Donnelly & McDaniel (2000), que pour beaucoup d'apprenants « cultivés⁵⁰ » être confrontés à des analogies ne peut pas se solder par des conséquences neutres, mais bien par des conséquences opposées qui dépendent de comment les apprenants peuvent relier le concept cible aux connaissances issues de leur expertise.

⁴⁹ L'étude consistait à présenter du matériel à apprendre à des novices ou des experts du domaine duquel est issu le matériel. Ce matériel était présenté de deux façons distinctes : 1) d'une façon qui décourage la mise en relation de ce matériel avec les connaissances antérieures du sujet en signifiant que ce matériel provient d'un pays étranger ; 2) d'une façon à encourager la mise en relation de ce matériel avec les connaissances antérieures en le contextualisant dans un univers familier. Qui plus est, ce matériel était proposé soit sous un format littéraire, soit sous un format analogique. Les sujets des différents groupes expérimentaux ont été invités à répondre à des questionnaires à choix multiples sur des éléments factuels relatifs au matériel appris ou sur des inférences à réaliser sur base de ce même matériel.

⁵⁰ Cultivés est ici à comprendre dans le sens de « ayant des connaissances importantes déjà acquises quant au domaine dont est issu le concept à apprendre ».

Enfin, les pratiques éducatives analogiques s'appuyant sur des « *guides d'étude* » ou des « *manuels* » analogiques semblent être particulièrement efficaces. Un « *guide d'étude analogique* » désigne, selon T. W. Bean, H. Singer et S. Cowen (1985), un tableau composé de trois colonnes dans lesquelles les étudiants peuvent respectivement accéder au(x) concept(s) ou au(x) phénomène(s), une explication de ce(s) derniers, une analogie illustrant ce(s) dernier(s) ; nous vous présentons un exemple de « *guide d'étude analogique* » issu de T. W. Bean et al. (1986) en annexe n°2. Bean et al. (1986) définirent trois phases dans la conception de ces « *manuels analogiques* » : 1) l'analyse des concepts importants régissant le phénomène que l'on veut expliquer ; 2) la création d'analogies appropriées et la formalisation de ces dernières sous la forme d'un tableau mettant en relation les sources avec les cibles ; 3) l'explicitation des méthodes analogiques aux élèves avant qu'ils utilisent le manuel afin de comprendre et de mémoriser les informations relatives au phénomène. L'étude de ces chercheurs montre que ce type de « *guide* » s'avère être un outil puissant en faveur de la compréhension des étudiants, même si ces derniers ont des résultats inférieurs à la moyenne vis-à-vis du domaine étudié. Cinq ans plus tard, T. W. Bean et al. (1990) remirent les « *guides d'études analogiques* » à l'épreuve d'une nouvelle expérimentation afin de peaufiner les conditions dans lesquelles ils s'avèrent être d'efficaces outils au service de la compréhension des étudiants. Dans cette optique, les chercheurs ont mis en avant que les étudiants ayant bénéficié d'un « *guide d'étude analogique* » combiné à des illustrations obtenaient de meilleurs résultats que les étudiants ayant bénéficié de ce guide accompagné des explications de l'enseignants ou que les étudiants ayant uniquement bénéficié de ce guide. Notons tout de même que les étudiants ayant bénéficié de ces deux dernières conditions obtenaient, tout de même, des résultats plus élevés – aucune différence significative n'a été mise en avant entre ces deux conditions – que les étudiants ayant bénéficié d'un texte explicatif dans lequel l'analogie était également proposée, mais pas sous la forme d'un « *guide d'étude analogique* ».

Ces différentes conditions d'efficacité rappellent l'importance, soulignée par Gineste et Gilbert (1995), pour un enseignant ou un formateur d'explicitier et de commenter les analogies qu'il présente à ses étudiants. Cette précaution semble améliorer les performances des étudiants.

2.3.5. Analogie et transfert

2.3.5.1. Le transfert, qu'est-ce ?

Selon Sternberg (2007, p. 416), le transfert⁵¹ peut être défini comme « *le mécanisme global de toute forme de report de connaissances ou de savoir-faire d'une situation de problème à une autre* ». M. Frenay et D. Bédart

⁵¹ Nous parlerons de transfert négatif lorsque la résolution antérieure d'un problème complexifie la résolution ultérieure d'un autre problème et de transfert positif lorsqu'elle en facilite la résolution (Sternberg, 2007).

(2011, p. 127-128) rejoignent cette définition en la complétant. Selon eux, le transfert des apprentissages désigne « *la capacité qu'à un apprenant de résoudre de nouvelles situations en mobilisant les connaissances apprises antérieurement dans des situations différentes* ». Dès lors, le transfert des apprentissages n'implique pas uniquement la mobilisation des connaissances nécessaires à la compréhension et à la maîtrise de la situation ; il implique également de la part du sujet un processus interprétatif et la mobilisation de stratégies adéquates lui permettant de transformer son action « *en tenant compte de la manière dont la situation elle-même a été transformée* » (Frenay & Bédart, 2011, p. 128).

La définition qu'apportent certains chercheurs – tels que McDaniel et Donnelly (1996) – à la pensée déductive nous mène à rapprocher cette forme de pensée de nos conceptions du transfert. En effet, selon ces auteurs, la pensée déductive nous permet de dépasser, face à un concept, l'état de fait particulier et « *d'utiliser l'information conceptuelle à de nouvelles fins et dans de nouveaux contextes* » (McDaniel & Donnelly, 1996, p. 508).

Précisons qu'il existe différents niveaux de transfert (Frenay & Bédart, 2011) : 1) le transfert dans des situations évaluatives proches de la situation d'apprentissage ; 2) le transfert dans des situations de stage ; 3) le transfert dans des situations extracurriculaires.

2.3.5.2. Une situation liant l'analogie au transfert

Nicolas Journet (2010) donne une illustration qui nous semble séduisante du pouvoir de transfert que peut posséder l'analogie : l'apprentissage de la soustraction. Avant de pouvoir réaliser quelque opération arithmétique, nous devons comprendre en quoi elle consiste. Deux analogies sources peuvent être utilisées pour figurer l'action de soustraire : « *séparer une partie d'un ensemble (...) ou parcourir un intervalle entre deux points en comptant ses pas* » (Journet, 2010, p. 39). Ces deux analogies permettent de transférer les techniques de comptage issues de la pratique quotidienne des enfants aux opérations arithmétiques abstraites travaillées dans les contextes scolaires.

2.3.5.3. Des études liant l'analogie et le transfert

Gick & Holyoak (1983) ont étudié l'impact de l'analogie sur le transfert en proposant à deux groupes de sujets de résoudre le « *problème de radiation*⁵² » : le premier groupe (groupe contrôle) devait simplement tenter de résoudre ce problème soit en ayant reçu un problème d'un tout autre type antérieurement, soit en n'ayant reçu aucun problème antérieurement ; le second groupe (groupe expérimental) devait résoudre ce problème après avoir résolu un problème analogue, dénommé le

⁵² Un chirurgien doit détruire une tumeur cérébrale maligne en utilisant un laser qui, à pleine puissance et avec un seul point d'attaque, détruirait également les tissus sains. La solution à cette énigme consiste à utiliser plusieurs lasers d'une puissance inférieure et dont les faisceaux convergent vers la tumeur (Gick & Holyoak, 1983 ; Journet, 2010).

« *problème militaire*⁵³ », dont la résolution était considérée comme étant plus simple. Les résultats qu'ils ont récoltés montrent que plus de 70 % des membres du groupe expérimental ont réussi à résoudre le « *problème de radiation* », tandis que moins 10 % des sujets faisant partie du groupe contrôle ont réussi cette tâche. Qui plus est, ils ont également montré que le recours à une analogie pouvait s'avérer encore plus efficace si un indice explicite qui relie le « *problème de radiation* » au « *problème militaire* » – dans ce cas l'indice portait sur le principe de convergence reliant les résolutions des deux problèmes – était fourni aux étudiants. Dans cette optique, Gentner (1983 ; 1989) dit de l'analogie qu'elle constitue un puissant mécanisme favorisant le transfert en permettant d'appréhender et de traiter les situations nouvelles tout en leur appliquant les caractéristiques structurales de situations sources.

McDaniel & Donnelly (1993 ; 1996) ont également montré qu'un concept intégré dans une analogie pouvait promouvoir les performances du sujet face à des questions évaluant la pensée déductive, et ce comparativement à des sujets pour lesquels le concept a été présenté de manière plus littérale. Les résultats obtenus par ces deux chercheurs montrent par contre que ce bénéfice de l'analogie vis-à-vis de la pensée déductive est parfois au détriment de certaines informations factuelles. Les sujets de la condition analogique sont moins performants vis-à-vis de questions factuelles que les sujets ayant disposé de la présentation littérale du concept.

2.3.6. Analogie et les autres processus cognitifs

2.3.6.1. Analogie et langage

Selon Georges Kleiber (2015), les métaphores – et par extension, l'analogie – font partie de notre langage journalier ; ce n'est cependant pas une raison pour succomber à la tentation de les considérer comme « *ordinaires* » ou « *banales* » du point de vue linguistique » (Kleiber, 2015, p. 13). En effet, elles constituent des phénomènes de « transgression » (ou des anomalies sémantiques) de l'usage standard des termes langagiers et de leurs combinaisons. Ces déviations – que nous qualifierons à l'instar de Kleiber (2015) de sémantiques ou de catégorielles⁵⁴ – à l'origine de la métaphore – et « *agissant en perturbatrices de nos connaissances à long terme* » (Kleiber, 2015, p. 13) – sont sources d'apports cognitifs inventifs nous permettant de mieux comprendre le neuf.

Dans la même perspective, selon Sander (2014, p. 350), « *les analogies parsèment notre langage et indiquent la manière dont nous conceptualisons, en général inconsciemment, certaines notions* ». En effet, une analyse

⁵³ Un général de l'armée doit assiéger une forteresse entourée par une ville dont l'étroitesse de la rue principale empêche le général d'envoyer une armée suffisante pour prendre possession de la forteresse. La solution à cette énigme consiste à envoyer des troupes par plusieurs rues qui convergent vers la forteresse (Gick & Holyoak, 1983 ; Journet, 2010).

⁵⁴ Par déviance catégorielle, nous entendons le fait que, par l'analogie, « *un terme ou une catégorie lexicale se trouve employé pour une occurrence qui ne fait a priori, ou en usage littéral, pas partie de sa catégorie* » (Kleiber, 2015, p. 14)

systématique des expressions langagières semble indiquer que l'analogie y est omniprésente permettant, dès lors, de rendre plus concrets et plus familiers nos propos. Qui plus est, ces analogies structurent nos actes, notre compréhension des événements et notre pensée (Lakoff & Johnson, 1980). A titre d'exemple, l'« argumentation » – voire de manière plus générale « la discussion – est, dans notre système conceptuel, analogue à la « guerre », à un « parcours », ainsi qu'à un « édifice » (Lakoff & Johnson, 1980 ; Hofstadter & Sander, 2014 ; Sander, 2014). Dans ce cadre conceptuel, certains lapsus peuvent être considérés comme résultant de mécanismes analogiques : deux situations étant analogiquement proches, le vocable utilisé dans l'une peut être involontairement et inadéquatement utilisé dans l'autre (Hofstadter & Sander, 2014).

2.3.6.2. Analogie et abstraction catégorisation

En 1935, J. Jacques, parlant des phénomènes d'abstraction, énonça les phrases suivantes :

« N'est-ce pas le seul mode proprement humain de connaître ? L'être est incontestablement commun à plusieurs ; mais abstraction métaphysique, c'est-à-dire abstraction dans un sens analogique. L'être imprègne tout, pénètre tout : l'abstrait s'insère dans le concret » (Jacques, 1935, p. 531).

Il nous semble que, par cette réflexion néo-scholastique de l'« être », J. Jacques initia les prémisses d'une compréhension cognitive⁵⁵ des procédés d'analogie et d'abstraction : par l'abstraction analogique, l'abstrait peut être appréhendé et compris sur base du concret. Il faudra cependant attendre les travaux de scientifiques tels ceux initiés par Emmanuel Sander (2000 ; 2014) pour mettre en avant que la valeur adaptative de l'analogie repose sur l'abstraction et la catégorisation ; deux processus inhérents à la pensée humaine et nécessaires à la survie⁵⁶ dans un monde marqué de diversités et d'innovations (Gentner & Holyoak, 1997). En effet, comme nous vous l'illustrons en annexe n°3, dans notre environnement, chaque concept possède en son sein des possibilités illimitées d'exemplaires distincts (Hofstadter & Sander, 2013) ; si bien qu'au cours de notre vie, chaque expérience que nous faisons est unique et singulière (Gentner & Holyoak, 1997). Pourtant, nous avons souvent cette impression qu'il n'y a « *nihil novi sub sole*⁵⁷ » (Gentner & Holyoak, 1997) tellement les situations dans lesquelles nous sommes plongés au quotidien nous semblent toutes familières ; cette illusion de familiarité est la résultante des processus analogiques qui prennent place dans notre cognition (Gentner & Holyoak, 1997). En effet, nos capacités à réaliser des analogies,

⁵⁵ Par l'abstraction analogique, l'abstrait (le nouveau, le « thème », la cible) peut être appréhendé et compris sur base du concret (le connu, le « phore », la source, la base) ; la ressemblance entre la définition que nous avons adaptée de Lakoff et Johnson (1980), grâce à des théories rhétoriques et des théories cognitivistes de l'analogie, semble, au regard des précisions indiquées entre parenthèses, proches de la pensée que nous déduisons des énoncés de J. Jacques (1935). C'est en constatant ces similitudes frappantes entre les deux « définitions » que nous concluons que J. Jacques initia les prémisses d'une compréhension cognitive de ces procédés dès 1935.

⁵⁶ Selon les approches évolutionnistes, l'évolution a modelé le cerveau humain afin qu'il puisse résoudre des problèmes adaptatifs. « *Ainsi, la capacité à catégoriser (...) les objets de notre environnement (...) serait une aptitude innée, forgée par l'évolution* » (Dortier, 2014, p. 43).

⁵⁷ Citation tirée de la Bible et signifiant « *rien de nouveau sous le soleil* ».

et leur valeur adaptative, nous permettent de détecter les points communs entre deux situations, tout en se débarrassant des particularités qui les distinguent, afin de regrouper et d'organiser ce qui est similaire en catégories dont le degré de généralité est variable (Sander, 2000 ; Sander 2014). Autrement dit, l'analogie constitue la voie royale⁵⁸ vers la modélisation, la schématisation (Borel, 2000), l'abstraction⁵⁹ et la catégorisation (Raynal et Rieunier, 2014 ; Vendetti et al., 2014).

L'analogie repose sur deux autres caractéristiques (Sander, 2000 ; Sander 2014) : la projection et la fluidité. En effet, par la projection, l'homme est capable de projeter les informations et les connaissances découlant d'une catégorie déterminée afin de penser et d'agir dans une situation donnée. Par la fluidité, les catégories créées par l'homme deviennent variables et dépendantes du contexte⁶⁰ ; cette caractéristique rend possible des « sauts catégoriels » dont l'ampleur dépend largement de l'analogie créée entre deux situations.

Dans ce cadre, l'analyse des dispositifs d'enseignement imaginés par Britt-Mari Barth (2013, a & b) et destinés à favoriser l'émergence des concepts ainsi que l'abstraction à la lumière des théories de l'analogie nous semble une voie prometteuse. En effet, il nous semble qu'implicitement, les dispositifs qu'elle propose recourent à l'analogie afin de soutenir les élèves lors de phases relatives à l'émergence de concepts neufs et jusqu'alors inconnus et à l'abstraction de ces derniers. Une réflexion quant à l'inter-influence possible entre (raisonnement par) analogie et stéréotype⁶¹ nous semble également une voie intéressante à explorer.

2.3.6.3. Analogie et raisonnement relationnel

Une étude menée par Vendetti et al. (2014) a démontré l'impact significatif des analogies dans ce qu'on appelle communément le raisonnement relationnel. Par raisonnement relationnel, nous entendons, au même titre qu'Hummel et Holyoak (2003, p.59), notre compétence « à *apprécier des analogies entre des objets ou des événements apparemment différents, (...) à appliquer des règles abstraites dans des situations nouvelles, (...) à comprendre et apprendre le langage et (...) à apprécier des similarités perceptuelles* ». L'étude menée par Vendetti et al. (2014) a montré que, confrontés lors d'une première tâche (de validation ou de production) à des analogies verbales (du type sémantiquement proches ou

⁵⁸ A ce titre, Raynal & Rieunier (2014, p. 59) disent qu'« associée à la répétition, la pensée analogique constitue (...) la voie royale vers l'abstraction ».

⁵⁹ Selon Laurence Dahan-Gaida (2001, p. 49), Paul Valéry considérait déjà que l'analogie permet « d'abstraire les relations constitutives d'un objet pour lui faire gagner en intelligibilité et en manipulabilité ».

⁶⁰ A titre d'exemple, un même tronc d'arbre peut être catégorisé comme bois de chauffage si une hache est déposée sur celui-ci ou comme chaise si un quelqu'un est assis dessus en train de pique-niquer.

⁶¹ Rappelons que, selon S. T. Fiske (2008, p. 490), stéréotyper consiste à « appliquer à un individu nos propres attentes cognitives et des associations que nous avons tendance à faire concernant son groupe d'inclusion ». Ainsi, dans le stéréotype intervient à la fois nos connaissances passées quant à un groupe d'individus ainsi que nos connaissances actuelles quant à un individu donné ; la rencontre entre ces deux types de connaissance fait, selon nous, du stéréotype un processus équivalent à celui de l'analogie.

sémantiquement éloignées), nos capacités de raisonnement relationnel, dans le cadre d'une seconde tâche (trouver des correspondances relationnelles⁶² entre deux situations imagées), se voient amplifier ; amplification encore plus saillante si les analogies verbales proposées aux sujets étaient du type sémantiquement éloignées et que la première tâche qui leur était demandée consistait à générer le terme « D » d'une analogie de proportion du type « A : B ; C : D ».

2.3.6.4. Analogie et résolution de problèmes

Comme nous l'avons déjà décrit précédemment, une étude menée par Gick et Holyoak (1983) a montré que l'analogie favorisait le transfert et, par voie de conséquence dans le cadre de cette étude, la résolution de problèmes. Selon Sternberg (2007), le raisonnement par analogie permet, par comparaison sélective, une compréhension soudaine pouvant conduire à la résolution d'un problème. En effet, la compréhension soudaine « *implique très souvent la capacité de détection et de combinaison d'informations pertinentes – anciennes et nouvelles – qui fournissent une nouvelle perception du problème ou de sa solution* » (Sternberg, 2007, p. 409). Par définition, l'analogie rend possible la comparaison et la combinaison entre les informations anciennes et les informations nouvelles, ce qui permet de percevoir le problème et sa solution autrement et ainsi, en passant par la compréhension soudaine, de faciliter sa résolution.

2.3.6.5. Analogie et création

Ces dernières années, de nombreux chercheurs (Borel, 2000 ; Chan, Paletz & Schunn, 2012 ; Dunbar & Blanchette, 2001 ; Jounet, 2010 ; Vendetti et al., 2014 ; Weinberg, 2009) ont affirmé que l'analogie est l'un des processus centraux encourageant la pensée créative, l'intuition novatrice, l'invention des connaissances ainsi que l'innovation et ce, indépendamment du domaine dans lequel ces processus sont sollicités (industrie, sciences, psychologie, ...). D'ailleurs, le modèle A-GC (analogie et gestion de contraintes) fait de l'analogie un processus cognitif élémentaire dans la recherche et la conception de solution(s) créative(s) ; les contraintes étant des moteurs permettant de limiter et de guider la recherche d'idées (Bonnardel, 2014).

2.4. Les déboires de l'analogie

Depuis les prolégomènes du présent travail, nous avons largement fait l'apologie de (du raisonnement par) l'analogie. Cependant, toujours considérée comme un processus au cœur de la cognition humaine, l'analogie connaît également ses propres déboires. Quelques-uns ont d'ailleurs

⁶² Par correspondance relationnelle, Vendetti et al. (2014) entendent des similarités de rôles pour des objets entre deux situations ; ils opposent à ces correspondances des correspondances de caractéristiques saillantes visuelles ou sémantiques.

déjà été soulignés dans le corps de ce travail ; néanmoins d'autres désagréments semblent également liés à l'analogie. En effet, selon Raynal & Rieunier (2014, p. 59), malgré l'efficacité du raisonnement par analogie, ce raisonnement

« pose toutefois certains problèmes, car le type d'analogie choisi active des connaissances qui peuvent parfaitement faciliter l'apprentissage à un premier niveau, mais constituer ensuite des obstacles difficiles à franchir pour poursuivre l'apprentissage à un niveau plus élevé ».

Qui plus est, selon Bouveresse (1999, p. 22), dans sa critique des analogies et métaphores utilisées par les chercheurs (mathématiciens et physiciens) afin de donner une apparence trompeuse de scientificité à leurs propos, l'analogie⁶³ a le double défaut de « 1) monter systématiquement en épingle les ressemblances les plus superficielles, en présentant cela comme une découverte révolutionnaire, 2) ignorer de façon aussi systématique les différences profondes⁶⁴, en les présentant comme des détails négligeables qui ne peuvent intéresser et impressionner que les esprits pointilleux, mesquins et pusillanimes » ; ces propos rejoignent ceux avancés par Gineste (1997).

En conclusion, l'analogie représente – selon les termes de C. Plantin (2011, p.112) et de M.-J. Borel (2000, p. 8) – « un obstacle épistémologique » « lorsque l'explication qu'elle propose, très satisfaisante pour l'intuition, fait obstacle à des recherches plus approfondies » (Plantin, 2011, p. 112)

⁶³ Et par extension, la métaphore.

⁶⁴ C'est ce que nous ressentons d'ailleurs quand D. Hofstadter et E. Sander (2014, p. 355) décrivent l'analogie comme la capacité à « percevoir « le même » au-delà des différences ».

2.5. Tableau de synthèse : analogie et apprentissage

Tableau 1 : analogie et apprentissage synthèse des principaux résultats

Analogie et apprentissage		
Définition pédagogique	D'un point de vue pédagogique, les enseignants et formateurs usant d'analogies « <i>invoquent souvent des concepts et des pratiques qui diffèrent de celles qui sont directement saillantes dans la situation</i> » d'apprentissage dans le but d'aider les apprenants à s'appropriier les concepts abstraits, les gestes techniques et les savoir-faire au cœur des séquences d'enseignement (Fillietaz et al., 2006, p.1).	
Deux rôles	Rôle dans les processus d'apprentissage	Rôle comme outil pour l'enseignant
Généralité	<p>L'analogie permet de lier le nouveau (les nouvelles connaissances) à l'ancien (nos déjà-là) (Clement & Gentner, 1991 ; Gentner, 1989 ; Holyoak et Koh, 1987).</p> <p>J.-F. Richard (2000) fait le lien entre cette capacité qu'à l'analogie de lier l'ancien et le nouveau et le duo de processus cognitifs que Piaget appelle l'assimilation et l'accommodation ; duo étant à l'origine, selon ce dernier, de tout apprentissage.</p> <p>L'analogie est considérée comme un mécanisme d'apprentissage spécifique par Anh Nguyen-Xuan (1995).</p>	
Mémorisation	Effet positif	<p>Simons (1984) montre que l'analogie entre la structure moléculaire et un biscuit émietté permet une meilleure mémorisation du concept cible que les documents traditionnels de cours sans analogie.</p> <p>Fayol (2011) fait de la création d'analogies un déterminant de l'efficacité des stratégies de répétition et d'enseignement en spirale.</p>
	Effet négatif	<p>McDaniel & Donnelly (1996) montrent qu'une analogie peut avoir des effets négatifs sur la mémorisation de faits concrets, spécifiques et détaillés.</p>
		<p>L'analogie peut (Fillietaz et al., 2006) soit :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Etre suscitée et construite par les apprenants afin de lier le contenu d'enseignement à leurs expériences réelles. • Etre initiée et proposée par l'enseignant. • Etre co-construite par les apprenants au sein d'un processus social interactionnel favorisant l'avènement de compréhensions mutuelles et son appropriation par tous. <p>L'analogie est au centre du modèle d'enseignement FAR (Focus, Action, Reflection) selon Supasorn et Promarak (2015).</p> <p>Glynn & Takahasi (1998) ont montré que les analogies élaborées (matériel verbal mettant systématiquement en lien les caractéristiques de la source avec les caractéristiques de la cible adjoint à un matériel visuel tel qu'un schéma) avaient des effets positifs sur la mémorisation à moyen et à long terme d'un concept.</p> <p>McDaniel & Donnelly (1996) montrent, qu'adjointe à un schéma ou à une mise en avant des faits essentiels, l'analogie pouvait promouvoir l'apprentissage factuel.</p>

Compréhension	Effet positif	<p>Paulson (2014), Hayes & Tierney (1982) et Supasorn & Promarak (2015) montrent des effets positifs de l'analogie sur la compréhension à la lecture.</p> <p>Paulson (2014) montre une meilleure prononciation de mots inconnus quand ceux-ci ont été précédés de mots connus se prononçant de la même façon.</p> <p>Gineste & Gilbert (1995) montrent que l'analogie active cognitivement les apprenants en leur procurant un univers sémantique et imagé.</p> <p>Bean, Singer, Cowan et Richaudeau (1986) disent de l'analogie qu'elle permet de se représenter et de visualiser, plus ou moins concrètement, les phénomènes ou les concepts inconnus.</p>	<p>Les analogies emblématiques – tout au long du texte – semblent plus efficaces sur les processus de compréhension que les analogies présentées avant la lecture du texte (Paulson, 2014).</p> <p>Schiavone (2014) et Gillis et al. (n.d.) montrent qu'il est nécessaire, pour qu'une analogie soit efficace, qu'elle ne souligne pas que les similarités entre la source et la cible, mais aussi leurs différences et que ces dernières ne constituent pas des caractéristiques essentielles.</p> <p>Vosniadou & Ortony (1983), Donnelly & McDaniel (1993 ; 2000) montrent que pour un apprenant novice vis-à-vis du domaine cible, il est essentiel que la source proposée par l'enseignant soit connue et corresponde à une expérience personnelle de cet apprenant afin que l'analogie soit efficace.</p>
	Effet négatif	<p>Jaeger & Wiley (2015) ainsi qu'Hidi (1990) montrent que l'analogie peut donner aux apprenants une illusion de compréhension : leur auto-évaluation est plus élevée que leur compréhension effective.</p> <p>Schiavone (2014) et Gillis et al. (n.d.) montrent que l'analogie peut favoriser la compréhension à un premier niveau, mais se dresser comme un obstacle épistémologique au développement de savoirs plus profonds.</p> <p>Donnelly & McDaniel (1993) montrent que une analogie peut être à la fois bénéfique pour un novice et néfaste pour un expert ; cette analogie simplifiant la cartographie des connaissances ou empêchant le rappel de connaissances antérieures chez l'expert.</p>	<p>Donnelly & McDaniel (2000) ont montré que plus les liens entre les déjà-là et le domaine dont est issu le matériel à apprendre sont difficiles à cerner plus l'analogie favorisait la compréhension à la fois des novices et des experts.</p> <p>Spiro, Feltovich, Coulson et Anderson (1989) montrent que multiplier les analogies présentées aux étudiants peut être bénéfiques à leur compréhension d'une cible.</p> <p>Bean, Singer & Cowen (1985) ainsi que Bean et al. (1986) montrent que présentées au sein d'un guide d'étude analogique, les analogies avaient des effets positifs sur la compréhension des étudiants d'un concept cible.</p> <p>Gineste et Gilbert (1995) soulignent l'importance de présenter, d'explicitier et de commenter largement une analogie si on veut qu'elle favorise la compréhension des apprenants.</p>
Transfert	<p>Gentner (1983 ; 1989) montre que l'analogie peut constituer un vecteur de transfert, car elle permet d'appréhender et de traiter une situation inédite en lui appliquant des caractéristiques de la situation source. L'étude de Gick & Holyoak (1983), dite du « <i>problème de radiation</i> », est une belle illustration de la thèse de Gentner.</p> <p>McDaniel & Donnelly (1993 ; 1996) ont montré qu'une analogie pouvait avoir des effets positifs sur les performances des élèves face à des questions déductives ; questions se rapprochant de ce que nous entendons par transfert.</p>		

3. Hypothèses et questions de recherche

3.1. Introduction

Notre question de recherche étant volontairement formulée de façon assez large et globale, il devient nécessaire de la préciser, comme annoncé dès l'introduction, sur base des hypothèses de travail sur lesquelles se fonde l'ensemble de nos investigations.

3.2. Constat issu de notre revue de la littérature

Comme le montre notre revue de la littérature, les études réalisées afin de quantifier et de qualifier l'apport des analogies sur l'apprentissage mènent à des résultats d'une grande hétérogénéité ; l'analogie a dans certains cas des effets positifs sur l'apprentissage, mais dans d'autres ses effets sont plus contrastés voire même négatifs (Donnelly & McDaniel, 2000 ; Glynn & Takahashi, 1998 ; Paulson, 2014). Dès lors, il semble primordial, au stade où a abouti la recherche actuelle relative à ce sujet, de tenter de définir des conditions qui influencent plus ou moins positivement l'efficacité des analogies sur les processus d'apprentissage et, plus largement, sur les processus cognitifs généraux (Donnelly & McDaniel, 2000).

3.3. Une intuition innovante

Dans la continuité des études réalisées jusqu'alors et dans l'optique de définir une éventuelle condition qui pourrait influencer l'efficacité de l'analogie sur les processus d'apprentissage, l'intuition que nous allons tenter de mettre à l'épreuve expérimentale consiste à croire que la distance sémantique entre la cible et la source de l'analogie constitue un déterminant de son efficacité pédagogique.

Cette intuition n'est pas sans rappeler les différentes typologies d'analogies que nous avons présentées dans le cadre de notre revue de la littérature. En effet, Gineste (1997), Plantin (2011) et Dahan-Gaida (2011) décrivent ce qu'ils appellent communément l'analogie de proportion afin de rendre compte des analogies reliant deux couples de termes par une relation identique. Vendetti, Wu et Holyoak (2014) différencient ces analogies de proportion selon la distance sémantique des relations qu'entretiennent entre elles les sources et les cibles. Ils en viennent alors à classer les analogies de proportion selon qu'elles sont cordonnées par des relations identiques – ils qualifieront ces analogies de sémantiquement proches – ou par des relations abstraites et non-explicites nécessitant, de la part du sujet, une réflexion pour leur mise en lumière ; ils qualifieront ces analogies de sémantiquement éloignées.

Notre revue de la littérature souligne déjà bon nombre d'études récentes ayant tenté de définir certaines conditions d'efficacité des analogies sur les processus d'apprentissage. Ainsi, nous avons vu que cette dernière pouvait s'avérer efficace si : elle est adjointe à un schéma (McDaniel & Donnelly, 1996) ; elle met en avant les faits et éléments essentiels (McDaniel & Donnelly, 1996) ; elle est développée en parallèle de l'explication de la cible (Paulson, 2014) ; elles sont multiples (Spiro, Feltovich, Coulson et Anderson, 1989) ; elle souligne, en plus des similarités, les différences et que ces dernières ne touchent pas des points et des caractéristiques essentiels (Schiavone, 2014 ; Gillis et al., n.d.) ; elle propose une source connue de l'apprenant (Vosniadou & Ortony, 1983 ; Donnelly & McDaniel, 1993 & 2000) ; elle rend complexe l'identification des liens entre les connaissances pré-acquises et le domaine dont est issu le matériel à apprendre (Donnelly & McDaniel, 2000) ; elle est placée dans un guide d'étude analogique (Bean, Singer & Cowen, 1985 ; Bean et al., 1986) ; ou encore si elle est explicitée et commentée largement par l'enseignant ou le formateur qui la propose (Gineste et Gilbert, 1995).

Néanmoins, jusqu'à présent et à notre connaissance, aucune étude n'a encore exploré l'impact de différents types d'analogies sur les processus d'apprentissage. Dès lors, tenté à travers le présent mémoire, de voir en quoi la proximité sémantique qu'une analogie de proportion entretient entre sa cible et sa source peut avoir un impact sur l'apprentissage – et plus précisément sur les processus de mémorisation, de compréhension et de transfert – s'avère une voie prometteuse et digne d'intérêt dans la continuité des travaux actuels.

3.4. Nos hypothèses proprement dites

A notre sens et à l'aune de nos investigations, nous pensons qu'une distance sémantique forte entre la cible et la source d'une analogie permet un meilleur apprentissage de la cible en proposant une comparaison de cette dernière avec un domaine familier au sujet. Cela irait d'ailleurs dans le sens des études réalisées par Vosniadou & Ortony (1983) ainsi que Donnelly & McDaniel (1993 ; 2000). En effet, selon ces derniers, la bonne connaissance par les sujets de la source à laquelle l'analogie relie la cible – le matériel d'apprentissage – est un déterminant de l'efficacité de l'analogie sur la compréhension, par les sujets, de la cible. Dans ce cadre, proposer aux sujets une analogie sémantiquement éloignée reliant la cible d'apprentissage à une source relative à une expérience ou un domaine familier et donc à une expérience ou un domaine dont les sujets ont une bonne connaissance, devrait faciliter leur apprentissage et, parallèlement, leur mémorisation, leur compréhension et leurs capacités de transfert.

Les trois hypothèses que nous posons sont dès lors les suivantes :

- 1) Un dispositif d'étayage du contenu d'enseignement ou de formation sur base d'une analogie, dont la distance sémantique entre la cible et la source est forte ou éloignée, favorise **la compréhension de** ces **contenus** par les apprenants.
- 2) Un dispositif d'étayage du contenu d'enseignement ou de formation sur base d'une analogie, dont la distance sémantique entre la cible et la source est forte ou éloignée, favorise, grâce à la réflexion en profondeur qu'elle promeut, **la rétention et la mémorisation de** ces **contenus** par les apprenants.
- 3) Un dispositif d'étayage du contenu d'enseignement ou de formation sur base d'une analogie, dont la distance sémantique entre la cible et la source est forte ou éloignée, favorise **le transfert de** ces **contenus** au sein d'autres situations.

Si les données récoltées nous le permettent, il pourrait également être intéressant de se pencher sur l'impact du degré d'expertise des sujets quant au domaine cible ; celui-ci pourrait avoir des conséquences sur l'efficacité des différents types d'analogies. En effet, on peut conclure des études menées par Donnelly et McDaniel (1993 ; 2000) que, si nous proposons à un expert du domaine dont est issu le concept cible à apprendre une analogie étayant ce concept en le reliant à une source issue d'une expérience de la vie de tous les jours du sujet, le danger est que, pour un expert, cette source simplifie indéniablement la cartographie des connaissances de la cible ou empêche le rappel de sources, issues des connaissances antérieures de l'expert, plus pertinentes et plus adaptées afin d'appréhender cette cible. Dès lors, pour cet expert, une analogie sémantiquement proche proposant, afin d'illustrer la cible, une source issue du même domaine et, par conséquent, du domaine dans lequel il est expert pourrait éviter l'écueil relaté par Donnelly et McDaniel (1993, 2000), voire même, favoriser leur apprentissage du matériel cible. En effet, une telle source pourrait activer une cartographie de connaissances élaborée et les nombreuses connaissances antérieures qu'un expert du domaine cible possède de ce même domaine ; ce qui favoriserait son apprentissage de cette cible. A contrario, une analogie de proportion sémantiquement éloignée mettrait ce même expert face à une source qui ne lui permet pas forcément de lier la cible à l'ensemble des connaissances qu'il a déjà acquises vis-à-vis du domaine dont elle est issue. Dès lors, cette analogie sémantiquement éloignée pourrait avoir des effets neutres voire néfastes sur l'apprentissage de la cible par cet expert.

4. Méthodologie

4.1. Un design quasi-expérimental

4.1.1. Introduction

Ayant pour but de démontrer un éventuel lien causal entre l'utilisation d'analogies dans le but d'étayer les contenus d'apprentissage et une meilleure compréhension, une meilleure rétention et un meilleur transfert de celui-ci, notre recherche ici entreprise se devait de revêtir un design quasi-expérimental⁶⁵. Effectivement, un tel design possède l'avantage de nous permettre d'évaluer, sur base des trois indicateurs (White & Sabarwal, 2014) précités (compréhension, mémorisation et transfert), l'efficacité des analogies sur les processus d'apprentissage inhérents à l'être-humain ; et, plus précisément, sur l'apprentissage d'une notion donnée au départ d'un support textuel dans lequel l'explication du concept choisi est adjointe à une analogie créée dans le but d'étayer ce concept. Etant donné ce design quasi-expérimental, nous avons dû créer des conditions expérimentales et contrôles – précisons que la méthode d'échantillonnage, la description de la population cible et la description des échantillons testés seront l'objet des parties suivantes⁶⁶ de ce mémoire – qui nous ont permis de mesurer l'efficacité des analogies sur ces trois indicateurs. Nous vous proposons une description de ces conditions à travers les pages suivantes.

4.1.2. Définition du domaine et du concept cible de l'apprentissage

La définition d'un domaine et d'un concept cible de l'apprentissage constituait la première étape nécessaire à la création de nos conditions contrôles et expérimentales. Dans ce cadre, différents critères ont guidé nos réflexions. Tout d'abord, il semblait primordial que le concept cible puisse s'expliquer en quelques phrases, et ce surtout afin que le temps nécessaire à la réalisation de notre étude par les sujets ne soit pas trop important. Une telle préoccupation souligne l'importance accordée au sein de notre dispositif de recherche à l'évitement de tous les biais relatifs à la fatigue cognitive des sujets ; biais déjà mis en évidence par Boulbry (2006) dans son étude sur les biais méthodologiques des enquêtes⁶⁷. Ensuite, il était nécessaire que ce concept soit adapté au public cible de notre recherche (public que nous vous décrivons par la suite). A cette fin, la notion de « zone proximale de développement » nous a guidés dans nos réflexions. En effet, il nous semblait essentiel que le concept central travaillé au sein de nos conditions constitue à la fois un défi pour

⁶⁵ Rappelons que selon H. White et S. Sabarwal (2014, p.1), « *les méthodes quasi expérimentales permettent de tester les hypothèses causales* ».

⁶⁶ Point 4.2., description de la population et de l'échantillon.

⁶⁷ Précisons que ce biais a été mis en évidence sur un public cible constitué de seniors. Néanmoins, il nous semble que prendre en compte ce type de biais dans la création et nos conditions expérimentales et contrôles relève de notre souci de scientificité.

les sujets, mais également un apprentissage à leur portée (Crahay, 2013). Pour finir, le concept choisi devait permettre de créer des analogies le comparant à des sources accessibles pour les sujets. Une fois ces trois critères définis, une brève recherche – notamment dans l’ouvrage de J. Levy (2012) « *100 analogies étonnantes pour comprendre les grandes théories scientifiques* » – et une brève réflexion personnelle nous a mené à choisir le concept de fission nucléaire et son utilisation dans les centrales nucléaires. Ce concept a, par conséquent, fait l’objet d’une explication écrite ; explication qui est commune à toutes les conditions expérimentales et contrôles. Cette explication, que nous vous proposons en annexe n°4, a été créée sur base d’informations recueillies dans des dictionnaires, dans des encyclopédies et sur Internet. La seconde explication du concept de fission nucléaire est celle qui différencie les différentes conditions expérimentales et contrôles. Nous les décrivons à travers les points suivants.

4.1.3. Création des conditions expérimentales

A travers nos conditions expérimentales, nous cherchons à étayer l’explication du concept de fission en proposant des analogies dont l’objectif est de relier la cible (le concept de fission nucléaire et son utilisation dans les centrales nucléaires) à une source dont la proximité sémantique avec la cible est variable. Schématiquement, nous pourrions représenter les conditions expérimentales de telle sorte :

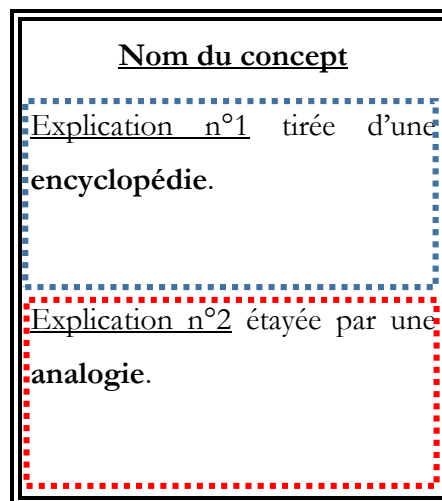


Figure 3 : conditions expérimentales

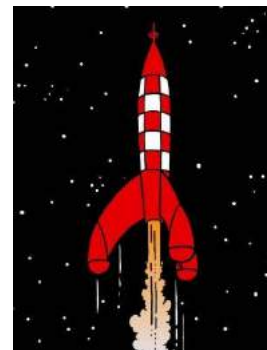
Afin de proposer des analogies dont la distance sémantique entre la cible et la source est variable, il nous semble pertinent d’en proposer trois :

- ✚ La première dont la **distance sémantique est faible (analogie proche)** : le domaine dont est issu le concept cible se doit d’être identique du domaine duquel provient le concept source (Vendetti, Wu & Holyoak ; 2014). Dans ce cadre, nous proposons une analogie entre la fission nucléaire utilisée dans les centrales nucléaires et la fission nucléaire utilisée

dans les moteurs de fusée. Nous vous présentons l'analogie présentée aux membres de ce groupe expérimental ci-dessous.

Tableau 2: analogie proche

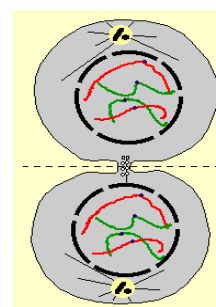
Des moteurs atomiques fonctionnant sur base du même principe permettront peut-être un jour l'homme de voyager sur Mars. Ces moteurs de fusée utilisent la fission nucléaire pour fournir une poussée permettant de propulser les fusées. En effet, comme dans les centrales nucléaires, des combustibles nucléaires sont bombardés de neutrons ; ce qui provoque une cascade de fissions des atomes nucléaires et une production importante de chaleur. Cette chaleur chauffe alors un gaz (du dihydrogène) qui est éjecté par une tuyère permettant de transformer en énergie cinétique l'énergie du gaz de combustion. Cette énergie cinétique permet à la fusée de décoller.



- ✚ La seconde dont la **distance sémantique est médiane (analogie médiane)** : le domaine dont est issu le concept cible est proche du domaine duquel provient le concept source (Vendetti, Wu & Holyoak ; 2014). Dans ce cadre, nous proposons une analogie entre la fission nucléaire utilisée dans les centrales nucléaires et la scissiparité cellulaire⁶⁸. Cette analogie met en lien un concept cible et un concept source tous les deux issus du domaine des sciences ; néanmoins, la fission nucléaire est un concept physique tandis que la scissiparité est un concept biologique.

Tableau 3: analogie médiane

La fission nucléaire à l'origine de la production électrique des centrales nucléaires est comparable à la division cellulaire (ou scissiparité cellulaire). En effet, par la scissiparité, la cellule se reproduit de façon asexuée en se divisant en deux ; deux organismes identiques entre eux et identiques à l'organisme mère. Bombardés par un neutron, les atomes nucléaires se fragmentent également en deux morceaux ; néanmoins, contrairement à la division cellulaire, la fission nucléaire est à la base d'une réaction en chaîne produisant de la chaleur qui peut être utilisée par les centrales nucléaires pour produire de l'électricité.



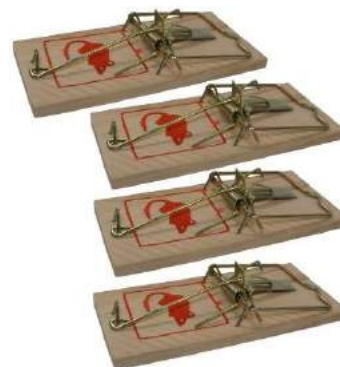
- ✚ La troisième dont la **distance sémantique est forte (analogie distale)** : le domaine dont est issu le concept cible se doit d'être éloigné du domaine duquel provient le concept source (Vendetti, Wu & Holyoak ; 2014). Dans ce cadre, nous proposons une analogie entre la fission nucléaire utilisée dans les centrales nucléaires et une réaction en chaîne produite avec des objets de la vie quotidienne. Cette analogie met en lien un concept cible issu des

⁶⁸ Autrement dit, la reproduction asexuée des cellules.

sciences physiques à un concept source issu d'une expérience, visualisable, de la vie quotidienne.

Tableau 4: analogie distale

Des enseignants ont représenté la fission nucléaire à leurs élèves en plaçant dans un aquarium des pièges à souris chargés de deux boulettes de papier. En lançant une boulette de papier, un des pièges se déclencha éparpillant des boulettes sur les pièges voisins, qui se déclenchèrent à leur tour ; s'en suit une réaction en chaîne qui provoqua le déclenchement de tous les pièges à souris de l'aquarium. Les pièges à souris représentent ici les atomes d'uranium ou de plutonium ; les boulettes de papier représentent quant à elles les neutrons qui, bombardés sur les atomes d'uranium ou de plutonium, provoquent une réaction en chaîne à l'origine de la cascade de fissions nucléaires qui produit de la chaleur.



Il est bon de souligner, au regard de ces trois analogies différenciant nos trois conditions expérimentales, notre souci d'éviter tout biais relatif à une différence quantitative dans les informations fournies aux étudiants participant à ces trois groupes expérimentaux. En effet, si nous comparons en termes de nombre de mots ces trois conditions, nous pouvons observer que l'analogie sémantiquement proche compte exactement 100 mots, l'analogie sémantiquement médiane compte, quant à elle, 96 mots, et, pour finir, l'analogie sémantiquement éloignée en compte 118. Dès lors, il n'existe, entre ces conditions, qu'une différence quantitative maximale de 22 mots ; ce qui nous mène à croire que d'éventuelles différences observées entre les sujets participants à ces conditions ne résultent pas de différences quantitatives quant aux informations auxquelles ils auront eu accès, mais bien à une différence qualitative entre les analogies qui leur ont été proposées.

Après la lecture de ces deux explications du concept choisi, les sujets ont été invités à répondre à un questionnaire ; questionnaire qui sera décrit plus loin dans ce travail à des fins d'intelligibilité.

4.1.4. Les deux conditions « contrôle »

Afin de pouvoir évaluer l'efficacité des analogies sur les apprentissages, il est indispensable de comparer les résultats obtenus par ces groupes expérimentaux au questionnaire décrit brièvement ci-dessus à ceux obtenus par d'autres groupes n'ayant pas bénéficié d'une analogie dans leur explication du concept. A cette fin, deux conditions contrôles ont été imaginées.

La première, en plus de proposer l'explication traditionnelle du concept issue d'une encyclopédie et d'Internet, propose une reformulation de cette explication ; reformulation que nous vous proposons à la page suivante.

Tableau 5: reformulation

Autrement dit, afin de produire de l'énergie électrique les centrales nucléaires provoquent la fission d'atomes d'Uranium ou de Plutonium. En effet, au sein des réacteurs des centrales nucléaires, un neutron pénètre un noyau d'Uranium ou de Plutonium et le brise en plusieurs morceaux. De ces morceaux, des neutrons s'échappent et entrent à leur tour en collision avec d'autres noyaux d'atomes d'Uranium/Plutonium. Le phénomène se poursuit dès lors en cascade. Chaque fission produit de la chaleur qui est utilisée par le réacteur nucléaire pour produire de la vapeur en chauffant un fluide. Cette vapeur, en faisant tourner des turbines, produit ensuite de l'énergie mécanique, puis électrique grâce aux alternateurs. Cette vapeur est ensuite transformée en liquide par les condensateurs avant d'être refroidie par les tours de refroidissement afin que le fluide puisse être réutilisé.

Dès lors, schématiquement, nous pourrions représenter cette condition de la sorte :

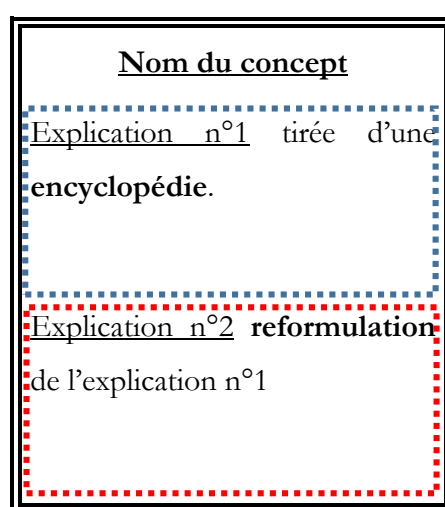


Figure 4 : condition contrôle n°1

Cette reformulation, en guise d'explication n°2, est nécessaire pour mettre ce groupe contrôle sur un pied d'égalité avec les groupes expérimentaux. En effet, si les sujets de ces derniers bénéficient d'une analogie, ils profitent de deux explications du concept. Dans ce cadre, si les sujets du groupe contrôle ne recevaient que l'explication issue des encyclopédies et d'Internet, ils ne bénéficieraient que d'une seule et unique explication du concept. Il serait dès lors impossible de distinguer si une différence observée résulterait de la présence d'une analogie dans la condition expérimentale – et donc à une différence qualitative entre les informations issues des deux conditions – ou bien à la présence d'une seconde explication qui créerait une différence quantitative au niveau des informations. Qui plus est, vous verrez que cette reformulation compte 133 mots et ne s'éloigne donc pas quantitativement des analogies proposées dans les conditions expérimentales.

La seconde condition contrôle, en plus de proposer l'explication traditionnelle du concept choisi tirée d'encyclopédies et d'Internet, propose un exemple de ce même concept. En effet, il nous semble désormais pratique largement répandue dans les domaines éducatifs que celle

d'accompagner une explication d'un concept donné par un exemple de ce dernier ; d'ailleurs de nombreuses études – comme celle réalisée par G. Fossion, G. Burlet et D. Faulx (2015) – proposent des réflexions quant à la nature et à l'efficacité de ces exemples. Dès lors, comparer l'efficacité de cette pratique à l'efficacité de l'étayage par analogie s'avère d'un intérêt primordial dans notre recherche. Schématiquement, nous pourrions représenter cette condition de la sorte :

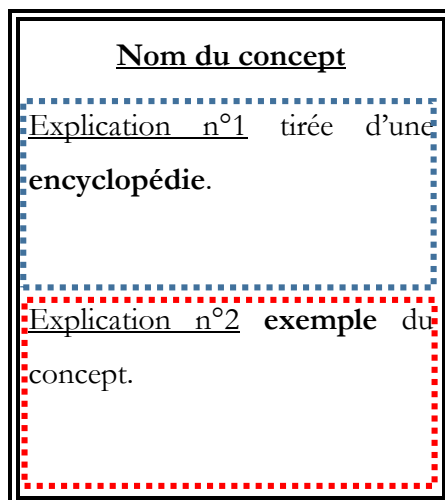



Figure 5 : condition contrôle n°2

La centrale nucléaire de Tihange – et la description de son fonctionnement réel – est l'exemple que nous avons choisi afin d'illustrer le concept de fission. En référence aux caractéristiques des exemples énoncés par Fossion, Burlet & Faulx (2015, p. 8), nous pouvons dire de cet exemple qu'il est « concret » puisqu'il s'agit d'un cas singulier présenté avec des précisions non-nécessaires vis-à-vis du concept transmis. Dès lors, selon ces auteurs, il semble que ce type d'exemples favorise l'élaboration d'une « *représentation imagée du contenu* ». Vous verrez également qu'à l'instar des analogies et de la reformulation proposées, notre souci d'éviter tout biais relatif à une différence quantitative des informations transparait également dans l'exemple que nous proposons ici. Effectivement, cet exemple compte 98 mots ce qui en fait, quantitativement, un étayage relativement identique aux autres étayages déjà décrits.

Tableau 6 : exemple concret

<p>Depuis 1968, trois centrales nucléaires, gérées par Electrabel, ont été construites à Thiange, une petite ville longeant la Meuse près de la ville de Huy. Les réacteurs fonctionnant sur base d'eau sous pression ; la chaleur (énergie thermique) dégagée par la fission nucléaire (énergie nucléaire) transforme de l'eau en vapeur qui entraîne des turbines (énergie mécanique). Un alternateur transforme alors l'énergie mécanique en électricité. Trois tours de refroidissement récupèrent alors l'eau sous pression, après qu'elle soit passée par un condensateur, la refroidissent afin de pouvoir la réutiliser. En moyenne, ces trois centrales nucléaires produisent ensemble environ 18 térawattheures.</p>	
--	---

4.2. Description de la population et de l'échantillon

La richesse de la recherche décrite ici, qui constitue malheureusement aussi son plus grand danger, est qu'elle est adaptable à tout contexte d'enseignement ou de formation. En effet, un dispositif d'étayage des contenus textuels d'enseignement ou de formation sur base d'analogies peut être implémenté dans un large panel de contextes. Reste donc à en délimiter un spécifique ; et à cette fin, il est indispensable de passer par la définition de critères – dont le caractère est purement et éminemment personnel – de sélection. Nous avons dès lors décidé de définir quatre critères distincts auxquels devra répondre le contexte – autrement dit le public – spécifique dans lequel nous allons travailler. Il devra :

- 1) Etre formé d'un **public d' « adultes »** ou de **« jeunes adultes »** ; critère nécessaire pour que ce mémoire s'insère au mieux dans le cursus universitaire dans lequel il est réalisé.
- 2) Etre constitué de **modules d'enseignement ou de formation dont nous maîtrisons assez le sujet** que pour imaginer un certain nombre d'analogies possibles sur base des contenus travaillés ; critère nécessaire pour que les cinq conditions imaginées représentent bel et bien des situations apprenantes pour les sujets. C'est pour être en accord avec ce critère que nous avons décidé de réaliser notre investigation dans le cadre de formations scientifiques.
- 3) Donner la **possibilité** au chercheur **de réaliser des évaluations** ; critère obligatoire afin que les sujets aient la possibilité et l'autorisation de répondre au questionnaire qui leur sera distribué après la lecture du document correspondant au groupe (expérimental ou contrôle) dans lequel ils se trouvent.
- 4) Etre constitué d'un **nombre de sujets suffisant** afin de pouvoir créer deux groupes contrôles et trois groupes expérimentaux comparables dont l'étude statistique permettra une généralisation minimale des données récoltées.

Sur base de ces critères, nous avons pu identifier le public le plus susceptible de convenir à la recherche que nous entreprenions : un public d'étudiants en cinquième secondaire ou en rhétorique dans le cadre du cours de sciences (ou de l'un des cours de sciences si les trois disciplines phares – c'est-à-dire la biologie, la chimie et la physique – sont divisées).

Le public cible de notre recherche a été sélectionné en fonction des écoles qui, contactées en début d'année 2017, ont accepté de participer à nos expérimentations. Dans ce cadre, nous parlerons, au même titre que Martin (2014, p. 22), d'échantillons « *volontaires* » ou « *spontanés* » afin de rendre compte du fait que « *les membres* » auront « *eux-mêmes décidé de se soumettre à l'enquête* ». L'échantillon que nous avons constitué semble être représentatif de la population – ou du moins d'une tranche

de cette population – constituée par les étudiants en fin d’enseignement secondaire dans la Fédération Wallonie-Bruxelles.

L’échantillon une fois constitué, restait encore à répartir les sujets dans les différents groupes contrôles et expérimentaux. Pour cela, et afin d’assurer l’équivalence des groupes en termes de statut socio-économique des sujets et de la qualité de l’établissement scolaire dans lequel ils sont inscrits, il nous a semblé logique et digne d’intérêt de diviser les sujets disponibles dans chaque établissement et dans chaque classe afin de les répartir dans les cinq groupes de notre étude. Cette répartition a été réalisée de façon strictement aléatoire et selon la démarche suivante :

- 1) Nous avons lancé un dé à six faces ; il s’est arrêté sur la face du chiffre « 3 »⁶⁹.
- 2) Nous avons pris la liste alphabétique reprenant tous les noms des élèves de la première classe, selon l’ordre chronologique, participant à notre étude.
- 3) Nous avons affecté le premier élève de cette liste au groupe expérimental « analogie sémantiquement proche », et ce selon le code que nous avons affecté à chaque face du dé et que nous vous proposons en note de bas de page n°69.
- 4) Nous avons affectés les autres élèves, en suivant l’ordre alphabétique, à tour de rôle, dans les différents groupes en obéissant à la succession suivante : groupe expérimental « analogie sémantiquement médiane », groupe expérimental « analogie sémantiquement éloignée », groupe contrôle « reformulation », groupe contrôle « exemple » ; groupe expérimental « analogie sémantiquement proche », et ainsi de suite ...
- 5) Nous avons, par la suite, repris chaque liste alphabétique reprenant les noms des élèves des différentes classes participant à notre étude – en suivant la chronologie de nos interventions – et affecté les élèves dans la continuité de la succession entamée dans la classe précédente.

La répartition ici envisagée des sujets n’ira pas plus loin que celle que nous vous proposons et qui met en avant notre souci de neutraliser d’éventuels biais vis-à-vis de variables relatives à l’établissement scolaire (qualité, statut socio-économique, options proposées, ...) et à la classe dans laquelle ils étudient. Certes l’étude ici réalisée gagnerait en puissance si un appariement très pointilleux était réalisé entre les étudiants appartenant aux différents groupes sur base notamment de variables telles que le quotient intellectuel, les capacités en lecture, le sexe, le passé scolaire, le rendement scolaire actuel, ... Néanmoins, une telle entreprise nécessiterait des moyens – qu’ils soient financiers ou temporels – qui ne sont pas octroyés dans le cadre d’un mémoire universitaire. Notons que certaines de ces variables, comme notamment le sexe, feront tout de même l’objet d’un

⁶⁹ La légende utilisé pour les différentes faces du dé était la suivante : 1 = groupe contrôle « reformulation ; 2 = groupe contrôle exemple ; 3 groupe expérimental « analogie sémantiquement proche » ; 4 = groupe expérimental « analogie sémantiquement médiane » ; 5 = groupe expérimental « analogie sémantiquement éloignée » ; 6 = relancer le dé.

recueil systématique – à travers le questionnaire – afin d’observer si elles ont, ou non, un impact sur les résultats obtenus par les sujets au questionnaire.

Afin d’être le plus intelligible possible, nous avons décidé de présenter notre échantillon dans le tableau ci-dessous ; tableau permettant d’observer et de calculer avec aisance le nombre de sujets questionnés dans chaque établissement ainsi que la répartition de ces sujets dans chacun de nos cinq groupes⁷⁰.

Tableau 7 : répartition des sujets selon l’établissement scolaire fréquenté

Nom de l’établissement scolaire (Localité, code postal)	Options proposées au sein de l’établissement (nombre d’heures par semaine)	Nombre de sujets	Groupe expérimental			Groupe contrôle n°1	Groupe contrôle n°2
			1	2	3		
Sainte Begge (Andenne, 5300)	Sciences fortes (6 heures) Espagnol (4 heures) Latin (4 heures) Sciences sociales (4 heures) Sciences économiques (4 heures) Math fortes (6 ou 8 heures) Culture générale (2 heures)	108	24	20	20	22	22
Athénée Royal Jean Tousseul (Andenne, 5300)	Sciences fortes (6 ou 9 heures) Sciences économiques (4 heures) Sciences sociales (4 heures) Espagnol (4 heures) Latin (4 heures) Théâtre Math fortes (6 heures)	55	11	12	12	9	11
Athénée Royal de Huy (Huy, 4500)	Sciences fortes (8/9/10 heures) Sciences économiques (4 heures) Sciences humaines/sociales (4 heures) Espagnol Anglais (6 heures) Latin - grec (6 heures) Humanités Artistiques Math fortes (6 heures)	58	12	11	12	10	13
Total		221	47	43	44	41	46

⁷⁰ Le groupe contrôle n°1 correspondant à la condition contrôle « reformulation » ; le groupe contrôle n°2 correspondant lui à la condition contrôle « exemple ». Pour ce qui est des groupes expérimentaux, ils correspondent respectivement à la condition « analogie sémantiquement proche », « analogie sémantiquement médiane » et « analogie sémantiquement éloignée ».

4.3. Le questionnaire, un instrument de recueil de données

4.3.1. Introduction

Etant donné le design quasi-expérimental de notre recherche, il était primordial – afin de pouvoir généraliser nos conclusions – de recueillir des données sur une tranche relativement conséquente de la population cible. Dans le but de pouvoir réaliser un tel recueil, l'usage du questionnaire s'est avéré être l'option la plus intéressante et surtout la plus rentable. En effet, un tel instrument a l'avantage de pouvoir être distribué à un large panel de sujets dans un temps relativement restreint et à faible coût financier. Qui plus est, ce type d'instrument de mesure est tout à fait adapté à un traitement quantitatif permettant de mettre en avant d'éventuels liens causals entre différentes variables. Nous pouvons diviser notre questionnaire en deux parties distinctes : 1) le recueil d'informations personnelles sur le sujet ; partie plus amplement décrite dans le point 4.3.2. « prise d'informations personnelles et leur intérêt » ; le recueil d'informations quant à la rétention effective, la compréhension effective et le transfert effectif du concept découvert lors de la lecture ; partie plus largement détaillée dans le point 4.3.3. « instrument destiné à évaluer la compréhension, la rétention et le transfert ». A travers ces deux parties, nous prendrons des extraits du questionnaire afin d'illustrer nos propos. Si vous désirez accéder au questionnaire dans sa version complète, nous vous le proposons en annexe n°5.

4.3.2. Prise d'informations personnelles et leur intérêt

Les premières données récoltées à travers notre questionnaire sont relatives à des informations personnelles sur les sujets testés. A travers cette partie du questionnaire, nous espérons obtenir des indications essentielles sur nos sujets telles que leur sexe, leur âge, le type d'enseignement qu'ils fréquentent, l'année d'étude, les options qu'ils suivent. Ces indications sont essentielles parce qu'elles peuvent constituer des variables déterminantes dans les résultats recueillis chez les étudiants. Qui plus est, il est intéressant pour nous de recueillir des données qui nous permettront peut-être de mettre en avant des modalités qui rendent plus ou moins profitables les cinq conditions distinctes que nous avons mises en place lors de notre étude. Ainsi, au prix d'une étude statistique de qualité, nous pourrions éventuellement souligner certaines variables (telles que l'expertise des étudiants ; variable recueillie sur base de l'information « option » et plus précisément sur base du nombre d'heures de sciences par semaine suivies par les sujets) ayant un impact (plus ou moins significatif) sur l'efficacité des apprentissages résultant des différents types d'étayages du concept choisi.

4.3.3. Instrument destiné à évaluer la compréhension, la rétention et le transfert

Afin d'évaluer des variables telles que la compréhension, la rétention et le transfert d'un concept, il est primordial de concevoir un outil permettant aux étudiants de faire l'étalage de telles capacités. En prenant en compte les différentes contraintes – telles que la nécessité de constituer des groupes contrôles et expérimentaux composés d'un nombre important de sujets, la nécessité d'obtenir des données sur lesquelles un traitement statistique est directement ou indirectement envisageable, les coûts financiers relativement faibles pouvant être consacrés à la réalisation d'une recherche scientifique dans le cadre d'un mémoire, ... – qui restreignent nos possibilités méthodologiques, le questionnaire s'avère une voie d'or pour obtenir les données escomptées. Néanmoins, afin de mesurer les trois variables qui nous intéressent tout particulièrement ici, ce questionnaire doit revêtir une forme tout à fait particulière. En effet, il est difficile d'observer et de mesurer de telles variables sur base d'un questionnaire avec échelle de Likert. C'est pourquoi un questionnaire composé de questions ouvertes – plus précisément de questions dont les modalités de réponses sont dites ouvertes – nous semble une voie prometteuse afin d'atteindre notre objectif puisque ce type de questions permet à l'apprenant un réel réinvestissement des savoirs, plus précisément ici du concept de fission, acquis (Martin, 2014). Cette partie du questionnaire est dès lors composée de cinq questions ouvertes ; questions que nous vous avons retranscrites dans le tableau ci-dessous.

Tableau 8: les cinq questions ouvertes de notre questionnaire

1. Retranscris tous les éléments relatifs à la fission et à l'énergie nucléaire dont tu te souviens après cette lecture ?
2. Schématise le principe de la cascade de fissions nucléaires ! N'oublie pas de nommer chaque composante de ton schéma.
3. Exemplifie les différentes étapes de la production électrique d'une centrale nucléaire en les schématisant. Nomme chaque composante de ton schéma et n'oublie pas d'organiser celui-ci chronologiquement.
4. L'image que nous avons tous des centrales nucléaires est leur(s) grande(s) tour(s) dégageant de la fumée, comme sur la photo ci-dessous. Selon toi, la fumée qui se dégage de ces tours est-elle polluante ? Explique le plus clairement possible ton avis.
5. En sachant que le principe de base à l'origine des bombes nucléaires est la fission nucléaire. Peux-tu expliquer avec tes mots ce qui provoque l'explosion de ces bombes ?

La première question a été créée afin d'évaluer la mémorisation des sujets ; elle est analogue à celle proposée par Hammadou (2000) dans sa recherche relative à l'impact des analogies sur la connaissance des contenus d'une compréhension à la lecture. Les deuxième et troisième questions ont été créées afin d'évaluer la compréhension des sujets quant à la fission nucléaire (question n°2, compréhension proche) et son utilisation au sein des centrales nucléaires (question n°3, compréhension médiane) et ce au regard de la définition des processus de compréhension de F. Raynal et A. Rieunier (2014) qui font de la construction d'une représentation pertinente de la

situation un déterminant et un indicateur de la compréhension de cette dernière. La quatrième question a été créée afin d'évaluer la compréhension des sujets quant à la fission nucléaire et son utilisation au sein des centrales nucléaires, mais d'une façon plus profonde que les deux questions précédentes. En effet, cette quatrième question cherche à évaluer la compréhension, que nous qualifierons par la suite de distale, des sujets via leurs capacités à faire des liens entre les informations présentes dans le texte afin de répondre à une question donnée ; capacités qui constituent également des déterminants et des indicateurs de la compréhension selon F. Raynal et A. Rieunier (2014). La cinquième question, quant à elle, cherche à évaluer les capacités de transfert des sujets en leur demandant d'appliquer le concept de fission nucléaire à une situation différente de celle des centrales nucléaires ; ce qui correspond à la définition du transfert proposée par M. Frenay et D. Bédart (2011) et citée au sein de notre revue de la littérature.

Cependant, l'instrument ici envisagé ne permet pas de recueillir des données empiriques qui seraient, par leurs conditions de récolte, standardisées (Martin, 2014). Dans ce cas, « *c'est un traitement a posteriori de standardisation par codage qui rend possible l'analyse quantitative des informations empiriques* » (Martin, 2014, p. 13). Dans cette optique, il était nécessaire d'adjoindre à ces questions des grilles d'évaluations permettant de coder en une valeur numérique chaque réponse énoncée par les étudiants. Afin de créer cette grille d'évaluation, des professionnels des sciences (physiques, biologiques ou chimiques) ont été contactés. Après avoir lu le texte présentant la fission nucléaire et proposé à tous les sujets participant à notre étude, nous leur avons demandé, pour chaque question, d'énoncer les critères et indicateurs qui, selon eux, permettraient d'évaluer – le plus précisément possible – les réponses obtenues de la part des sujets. A cette fin, le questionnaire – que nous vous présentons en annexe n°6 – leur a été distribué. C'est seulement après ce codage qu'il a été envisageable d'entamer le traitement statistique permettant la comparaison, sur base des réponses aux questionnaires et surtout de leur codage en valeurs numériques, entre les groupes expérimentaux et les groupes contrôles. Ce traitement statistique nous permettra, dès lors, de conclure à une différence – d'une puissance variable – ou à une égalité entre les cinq conditions quant aux capacités d'intégration, de compréhension et de transfert du concept par les individus.

4.4. Les traitements statistiques envisagés

Après le codage des réponses des étudiants aux questions ouvertes, les résultats obtenus par ceux-ci dans chaque condition devront être statistiquement comparés afin de mettre en avant d'éventuelles différences au niveau des apprentissages entre les cinq conditions. A cette fin, le choix du test statistique approprié sera dépendant de la normalité de notre échantillon. Si ce dernier s'avère normalement distribué, une ANOVA (ANalysis Of Variance) a un facteur sera de mise dans

le but de comparer les 5 échantillons indépendants de notre étude et de tester d'éventuelles différences relatives à la variable qualitative « type d'étayage » constituant un facteur à 5 modalités (Judd, McClelland, Ryan, Muller, Yzerbyt, 2010) : analogie sémantiquement proche, analogie sémantiquement médiane, analogie sémantiquement éloignée, reformulation ou exemple. Si notre échantillon est normalement distribué, il peut également être intéressant de réaliser une analyse de variance à plan factoriel afin de tester, en plus de l'impact de la variable qualitative « type d'étayage », l'effet d'autres variables indépendantes (Judd, McClelland, Ryan, Muller, Yzerbyt, 2000) comme le sexe et le degré d'expertise (que nous mesurons avec le nombre d'heures de sciences par semaine que suivent les élèves). En plus de calculer les effets simples, une telle MANOVA (Multivariate ANalysis Of VAriance) permet de calculer les effets d'interaction entre les variables (SPSS 17, n.d.). Par contre, si notre échantillon s'avère non-normalement distribué, l'équivalent non-paramétrique de l'ANOVA à un facteur sur échantillons indépendants est l'analyse de Kruskal Wallis (Lefèvre & Taverner, 2015) qui peut être adjointe à un test des médianes.

4.5. Les vigilances éthiques nécessaires

Un tel dispositif expérimental oblige les chercheurs à faire preuve d'une certaine vigilance éthique. D'une part, le chercheur doit s'assurer que son explication du dispositif soit d'une qualité égale, mais aussi d'une quantité égale, quelle que soit la condition expérimentale dans laquelle se trouve les étudiants auxquels il s'adresse. Cette prédisposition est nécessaire afin de permettre au chercheur d'apprécier si une différence observée entre certaines conditions est réellement la conséquence des variables sur lesquelles il expérimente, et non la conséquence d'une différence quantitative et/ou qualitative des consignes et explications qu'il a données. Dans la continuité de cette vigilance, le chercheur doit se doter de l'esprit critique, de l'objectivité et la neutralité maximale lui permettant ainsi de créer, pour le concept qu'il a choisi, des conditions toutes cinq porteuses d'apprentissage pour les sujets ; si bien qu'il ne favorise aucunement l'apprentissage du concept pour les étudiants issus d'un des groupes expérimentaux. D'autre part, la discussion des résultats obtenus doit absolument prendre en compte la représentativité de l'échantillon testé lors de notre recherche afin, surtout, de rendre compte du degré de généralisation possible des données obtenues. Pour finir, et même si cela semble être naturel, il est important d'ajouter que le chercheur se doit, afin de garder toute l'éthique qui incombe à sa fonction, de ne jamais modifier les données qu'il a récoltées. L'honnêteté et la rigueur scientifique sont sans aucun doute deux des piliers de la recherche en sciences humaines.

5. Résultats obtenus

5.1. Introduction

Comme mentionné dans la partie méthodologique de ce mémoire, la première étape nécessaire, afin d'obtenir des résultats et des données pouvant faire l'objet d'une analyse statistique approfondie, était le codage quantitatif des informations qualitatives recueillies par notre test. A cette fin, des professionnels des sciences ont été contactés et nous leur avons demandé, après avoir lu le texte, d'écrire les critères d'évaluation de chaque question et de les pondérer de telle façon à répartir 10 points par question. Nous avons obtenu quatre réponses de la part des professionnels des sciences contactés : trois provenant d'enseignants des sciences dans le degré inférieur du secondaire général et une provenant d'un docteur en chimie ayant travaillé dans l'une des centrales nucléaires de l'Utah. Sur base de ces réponses, nous avons créé une grille d'évaluation des cinq différentes questions de notre questionnaire. Cette grille, dans son état actuel que nous vous proposons en annexe n° 7, a tenté de compiler la précision des contenus soulignés par le docteur en chimie à la pondération et au degré d'importance accordé à ces contenus par les enseignants. Cette entreprise a ainsi abouti sur une liste de critères précis et objectifs dont l'occurrence (ou la non-occurrence) au sein des réponses des élèves mènent à l'obtention (ou la non-obtention) des points qui y sont attribués.

Au sein de cette partie, nous pouvons distinguer deux types de résultats. Tout d'abord, nous vous présentons, en long et en large, **la part quantitative** de nos analyses. Ainsi, nous vous décrivons, respectivement, notre méthode d'évaluation des réponses des étudiants et le codage de ces données, les paramètres statistiques de nos groupes expérimentaux, les résultats de nos analyses de normalité des échantillons testés et les résultats de nos tests statistiques de comparaison des différents groupes expérimentaux sur les différentes variables dépendantes évaluées. En fin de cette présentation des résultats, nous vous proposons un **volet plus qualitatif** de ceux-ci ; il rendra compte de certaines constations que nous avons pu faire lors du codage des questionnaires.

5.2. Evaluation des copies et codage des données

Afin de réaliser l'évaluation et le codage des copies des élèves le plus neutre et le plus objectif possible, nous avons analysé nous-mêmes et à l'aveugle (sans savoir le groupe expérimental dont est issu la copie) ces copies. Les deux-cents-vingt-et-une copies de notre échantillon ont été corrigées dans un laps de temps réduit d'environ deux semaines. Les règles de cotation que nous avons utilisées ont été identiques pour chaque copie :

- 1) Si le critère était présent, nous accordions l'entièreté des points de ce critère.
- 2) Si le critère n'était pas présent, nous n'accordions aucun point pour ce critère.
- 3) Si nous doutions⁷¹ sur la présence ou non d'éléments relatifs à un critère, nous avons décidé – afin de ne favoriser aucune copie – d'accorder la moitié des points du critère.

Au niveau de l'encodage des données, nous avons utilisé un fichier « Excel » traditionnel dans lequel nous avons recopié les résultats des grilles d'évaluation complétées pour chaque copie d'élève et ce au regard des informations personnelles que nous avons recueillies sur eux, mais aussi du groupe expérimental auquel ils appartiennent. Nous avons ensuite importé ce tableur « Excel » au sein du logiciel « Statistica » afin de réaliser les tests statistiques que nous vous présentons dans la suite de ce mémoire.

Certains sujets n'ont pas eu le temps de répondre à toutes les questions et l'ont indiqué sur le questionnaire⁷². Pour les dix questions concernées par ce manque de temps, nous avons complété nos données en leur donnant pour valeur la moyenne des réponses obtenues à ces questions par les membres du groupe dont sont issus les sujets n'ayant pas pu y répondre.

Nous avons supprimé deux copies de notre échantillon. Les étudiants auxquels elles appartenaient n'avaient répondu à aucune des cinq questions ; ce qui les rendait intraitables et risquait de modifier la nature et l'amplitude de nos résultats.

5.3. Paramètres statistiques descriptifs

La première variable dépendante évaluée par notre questionnaire est « la mémorisation » des sujets du concept que nous leur avons présenté. Cette variable a été évaluée grâce à la première question qui a été posée aux étudiants ayant participé à notre étude : « *Retranscris tous les éléments relatifs à la fission et à l'énergie nucléaire dont tu te souviens après cette lecture ?* ». Nous avons obtenu **221** réponses (**N**) à cette question. La moyenne sur 10 des réponses obtenues par les étudiants, tout groupe confondu, s'élève à **4,683258** (\bar{M}). L'écart-type de l'échantillon pour cette question est de **2.407993** (**S**). L'étendue des résultats obtenus est de 9.75 ; le **minimum** étant égal à **0** et le **maximum** à **9.75**. La **médiane** est équivalente à **4.5**. Si on analyse les résultats des étudiants selon la condition expérimentale dans laquelle ils se trouvent, nous obtenons les statistiques descriptives présentées

⁷¹ A titre d'exemple, certaines copies faisaient mention d'une rencontre entre les neutrons et les combustibles nucléaires au sein des centrales, sans pour autant préciser que cette rencontre est initiée au sein du réacteur nucléaire par un bombardement intentionnel de ces combustibles par des neutrons. Il est difficile ici de statuer en faveur ou en défaveur de l'accord de la totalité des points des critères « neutron » et « bombardement » ; certains éléments essentiels étaient certes présents dans la réponse proposée par ces étudiants, mais d'autres ne l'étaient pas. Il a donc été décidé, dans ces cas particuliers où l'accord de la totalité des points ou l'obtention d'un zéro pour certains critères n'était pas représentatif de la démonstration des étudiants, de leur accorder, à tous, la moitié des points.

⁷² Nous leur avons demandé, lors de la passation des tests, d'indiquer si une question « vide » était une question à laquelle ils ne savaient pas répondre ou si c'était une question à laquelle ils n'avaient pas eu le temps de répondre.

ci-dessous. Précisons que si vous désirez disposer des moyennes des différentes conditions de notre étude présentées sous la forme d'histogrammes, nous vous invitons à vous référer à l'annexe n° 8.

Tableau 9 : statistiques descriptives des résultats des différents groupes à la question n°1

Question 1 – variable dépendante « mémorisation »						
Condition	N	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	S
Analogie distale	44	5.159090909	4.75	0.75	9.5	2.330343
Analogie médiane	43	4.680232558	5	0	9.25	2.309611
Analogie proche	47	4.856382979	4.75	0.75	9.5	2.285199
Exemple	46	3.777173913	2.875	0	8.5	2.294455
Reformulation	41	4.993902439	4.75	0.5	9.75	2.709640

La seconde variable dépendante évaluée par notre questionnaire est « la compréhension » des sujets du concept que nous leur avons présenté. Cette variable a été évaluée grâce aux items numéro 2, 3 et 4 de notre questionnaire. Chacune de ces questions se distingue des autres de par son degré de proximité avec le concept qui fait l'objet de l'analogie, de l'exemple ou de la reformulation (la fission nucléaire). La première question cherche à évaluer la compréhension proche des sujets de ce concept et ce en leur demandant de : « Schématise(x) le principe de la cascade de fissions nucléaires ! ». Nous avons obtenu **221** réponses (**N**) à cette question. La moyenne sur 10 des réponses obtenues par les étudiants, tout groupe confondu, s'élève à **5,952489** ($\overline{C_1}$). L'écart-type de l'échantillon pour cette question est de **1,828323** (**S**). L'étendue des résultats obtenus est de 10; le **minimum** étant égal à **0** et le **maximum**, quant à lui, étant égal à **10**. La **médiane** est équivalente à **6**. Si on analyse les résultats des étudiants selon la condition expérimentale dans laquelle ils se trouvent, nous obtenons les statistiques descriptives suivantes :

Tableau 10 : statistiques descriptives des résultats des différents groupes à la question n°2

Question 2 – variable dépendante « compréhension proche »						
Condition	N	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	S
Analogie distale	44	6.568181818	6.25	2	10	1.605191
Analogie médiane	43	6.058139535	6.5	0	9.5	1.641026
Analogie proche	47	6.063829787	6.5	0	10	1.977089
Exemple	46	5.532608696	6	0	9	1.992771
Reformulation	41	5.524390244	6	0	8	1.753394

La seconde question de compréhension que nous avons posée aux sujets est un peu plus éloignée du concept de fission nucléaire que la première question. Elle demande aux sujets de réaliser un schéma chronologique de la production électrique des centrales nucléaires. Nous avons obtenu **221** réponses (**N**) à cette question. La moyenne sur 10 des réponses obtenues par les étudiants, tout groupe confondu, s'élève à **6,268190** ($\overline{C_2}$). L'écart-type de l'échantillon pour cette question est de **2.208903** (**S**). L'étendue des résultats obtenus est de 10; le **minimum** étant égal à **0** et le **maximum**

à **10**. La **médiane** est équivalente à **6,75**. Si on analyse les résultats des étudiants selon la condition expérimentale dans laquelle ils se trouvent, nous obtenons les statistiques descriptives suivantes :

Tableau 11 : statistiques descriptives des résultats des différents groupes à la question n°3

Question 3 – variable dépendante « compréhension médiane »						
Condition	N	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	S
Analogie distale	44	6.430227273	7	0	9.5	2.343550
Analogie médiane	43	6.430232558	6.75	2.25	10	2.116633
Analogie proche	47	6.622340426	7.25	0	10	2.272755
Exemple	46	5.838913043	6	1.5	9.5	2.164843
Reformulation	41	6	6.5	0	9.5	2.155661

La troisième question de compréhension que nous avons posée aux sujets est encore un peu plus éloignée du concept de fission nucléaire que la seconde question. Elle demande aux sujets d'expliquer si, selon eux, la fumée qui se dégage des tours des centrales nucléaires est polluante ou non. Nous avons obtenu **221** réponses (**N**) à cette question. La moyenne sur 10 des réponses obtenues par les étudiants, tout groupe confondu, s'élève à **4,236199** (\bar{C}_3). L'écart-type de l'échantillon pour cette question est de **2.858843** (**S**). L'étendue des résultats obtenus est de 10; le **minimum** étant égal à **0** et le **maximum** à **10**. La **médiane** est équivalente à **5**. Si on analyse les résultats des étudiants selon la condition expérimentale dans laquelle ils se trouvent, nous obtenons les statistiques descriptives suivantes :

Tableau 12 : statistiques descriptives des résultats des différents groupes à la question n°4

Question 4 – variable dépendante « compréhension distale »						
Condition	N	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	S
Analogie distale	44	4,571363636	5	0	9	2.746184
Analogie médiane	43	4.309534884	5	0	9	3.203332
Analogie proche	47	4.25	5	0	10	3.035568
Exemple	46	4.423913043	5	0	8	2.3804
Reformulation	41	3.573170732	5	0	9	2.946525

Les capacités de transfert des sujets vis-à-vis du concept de fission nucléaire que nous leur avons présenté constituent la troisième et dernière variable dépendante évaluée par notre questionnaire est. Cette variable a été évaluée grâce à l'item numéro 5 de notre questionnaire : « *En sachant que le principe de base à l'origine des bombes nucléaires est la fission nucléaire. Peux-tu expliquer avec tes mots ce qui provoque l'explosion de ces bombes ?* ». Nous avons obtenu **221** réponses (**N**) à cette question. La moyenne sur 10 des réponses obtenues par les étudiants, tout groupe confondu, s'élève à **3,801176** (\bar{T}). L'écart-type de l'échantillon pour cette question est de **2.166816** (**S**). L'étendue des résultats obtenus est de 10; le **minimum** étant égal à **0** et le **maximum** étant égal à **10**. La **médiane** est équivalente à **3,77**. Si on analyse les résultats des étudiants selon la condition expérimentale dans laquelle ils se trouvent, nous obtenons les statistiques descriptives de la page suivante.

Tableau 13 : statistiques descriptives des résultats des différents groupes à la question n°5

Question 5 – variable dépendante « transfert »						
Condition	N	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	S
Analogie distale	44	4,470454545	5	0	9	2.233423
Analogie médiane	43	3,914418605	4	0	10	2.225134
Analogie proche	47	3,777446809	3.77	0	7.5	1.926801
Exemple	46	3,576086957	3.5	0	8	2.183187
Reformulation	41	3,243902439	3	0	7.5	2.205453

Ces indices statistiques descriptifs n'ont une valeur que si l'hypothèse d'absence de point atypique dans nos distributions peut être tolérée. A cette fin, il est utile de réaliser le test statistique de Grubbs qui présuppose la normalité de nos échantillons dans le but d'identifier d'éventuels points atypiques en leur sein (Bassirou Diallo, 2010).

La réalisation de ce test pour l'ensemble des groupes nous mène aux résultats suivants :

Tableau 14 : Test de Grubbs pour les valeurs atypiques sur l'ensemble de notre effectif

Variable	N	Test statistique de Grubbs	Valeur p
Mémorisation	221	2.104135	1
Compréhension proche	221	3.255709	0.220668
Compréhension médiane	221	2.837694	0.937772
Compréhension distale	221	2.016131	1
Transfert	221	2.860798	0.869894

Les valeurs « p » étant toutes supérieures au seuil alpha de 0.05 (Albert, 2005), nous ne pouvons pas rejeter l'hypothèse nulle d'absence de point atypique. Autrement dit, sur l'ensemble de notre échantillon, nous pouvons tolérer l'hypothèse selon laquelle il n'y a pas de points atypiques dans notre distribution.

Le test statistique de Grubbs a également été réalisé à l'intérieur de chacun des groupes expérimentaux et ce afin de vérifier les mêmes hypothèses d'absence de point atypique au sein de chacun des sous-effectifs de notre étude. De manière générale, et avec un seuil alpha de 0.05, nous pouvons tolérer l'hypothèse selon laquelle il n'y a pas de points atypiques, et ce quel que soit la variable évaluée, au sein de nos groupes contrôles et expérimentaux. Les cinq tableaux statistiques réalisés à cet effet vous sont proposés en annexe n° 9. Néanmoins, pour la variable compréhension proche, il semble que le groupe contrôle reformulation et le groupe expérimental analogie médiane puissent être marqués de points atypiques au sein de leur effectif⁷³. En effet, la valeur « p » du test statistique de Grubbs est, dans les deux cas, inférieure à la valeur alpha de « 0.05 » ; ce qui nous mène à rejeter, à un niveau d'incertitude de 5 %, notre hypothèse d'absence de point atypique dans

⁷³ Nous avons d'ailleurs marqué en orange les cases des tableaux statistiques relatifs à cette variable et ces deux groupes au sein des cinq tableaux statistiques que nous vous proposons en annexe n°9.

ces deux ensembles de valeurs. Autrement dit, au sein de ces deux groupes, il existe des points atypiques dans la distribution de la variable compréhension proche.

Tableau 15 : Test de Grubbs pour les valeurs atypiques sur la variable compréhension proche et ce pour les deux sous-effectifs dont l'hypothèse nulle peut être rejetée

Groupe	N	Test statistique de Grubbs	Valeur p
Reformulation	41	3.150684	0.031684
Analogie médiane	43	3.691677	0.002251

Le logiciel d'analyse quantitative « statistica » nous permet de recoder et filtrer ces valeurs atypiques et, ainsi, de calculer les indices statistiques descriptifs sans tenir compte de ces valeurs atypiques qui peuvent, indéniablement, les modifier.

Tableau 16 : statistiques descriptives des résultats des différents groupes à la question n°2 après avoir filtré les valeurs atypiques

Question 2 – variable dépendante « compréhension proche » après avoir subi un filtrage des données atypiques						
Condition	N	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	Ecart-type
Analogie distale	44	6.568182	6.25	2	10	1.605191
Analogie médiane	42	6.202381	6.5	2.5	9.5	1.357273
Analogie proche	45	6.311111	6.5	3	10	1.614173
Exemple	44	5.784091	6	1.5	9	1.633222
Reformulation	40	5.662500	6	1.5	8	1.533337

Nous vous expliquerons, dans la discussion, les raisons qui nous ont menées à continuer nos tests statistiques sans tenir compte de ces résultats filtrés

5.4. Test de normalité

Une fois les indices statistiques descriptifs calculés et recueillis, il nous reste à réaliser un test de normalité de notre échantillon, mais aussi des tests de normalité intra-groupes, afin de statuer sur la suite des tests statistiques envisageables dans notre étude. Il existe trois grands tests de normalité : le test de Shapiro-Wilk, le test de Kolmogorov-Smirnov et le test de Lilliefors. Nous réaliserons le test de Shapiro-Wilk pour tester la normalité de la distribution interne à chacun des groupes contrôles et des groupes expérimentaux. En effet, ce test est particulièrement adapté et puissant face à des petits effectifs inférieurs à 50 sujets (Rakotomalala, 2011) ; rappelons que les effectifs des différents groupes de notre étude varient de 41 à 47 participants. Nous préférons, pour l'analyse de la normalité de notre effectif complet, le test de Lilliefors au test de Kolmogorov-Smirnov. Bien que ces deux tests soient tous les deux adaptés à des effectifs nombreux ; le test de Kolmogorov-Smirnov nécessite une connaissance des paramètres statistiques de la population (Rakotomalala, 2011), ce qui n'est pas notre cas dans la présente étude. Quel que soit le test de normalité réalisé, nous posons l'hypothèse nulle de normalité de la distribution des valeurs

récoltées. Nous rejetterons cette hypothèse dès que la valeur « p » du test réalisé sera inférieure à celle du seuil alpha qui est à 0.05.

Les tests de Lilliefors réalisés sur l'ensemble de notre échantillon ($N = 221$) mènent, pour chaque variable, à rejeter l'hypothèse nulle de normalité. En effet, pour chaque variable (mémorisation, compréhension proche, compréhension médiane, compréhension distale et transfert) dont nous avons testé la normalité de la distribution, la valeur « p » des tests de Lilliefors est inférieure à 0.05.

Tableau 17 : Test de Lilliefors de normalité de la distribution pour l'ensemble des groupes de notre étude

Test de normalité de Lilliefors			
Variables	N	D max	Valeur p
Mémorisation	221	0.083698	$P < 0.01$
Compréhension proche	221	0.123785	$P < 0.01$
Compréhension médiane	221	0.119234	$P < 0.01$
Compréhension distale	221	0.234058	$P < 0.01$
Transfert	221	0.071521	$P < 0.01$

Face à ces résultats, nous devons contester l'hypothèse nulle de normalité de la distribution. Autrement dit, dans son ensemble, notre échantillon n'est pas normalement distribué. Les résultats complets (tables de fréquences, résultats complémentaires réalisés sur base des tests de Shapiro-Wilk et de Kolmogorov-Smirnov, histogrammes) des cinq tests de normalité réalisés sur l'ensemble de nos 221 sujets sont présentés en annexe n°10.

Regardons maintenant, de plus près, la distribution au sein de chaque sous-groupe expérimental de notre étude. Les résultats obtenus aux 25 tests de Shapiro-Wilk effectués (un par variable pour chacune des 5 conditions expérimentales et contrôles) ne nous mènent pas à reconsidérer la non-normalité de notre échantillon, hormis pour la variable transfert. En effet, les résultats des tests de Shapiro-Wilk réalisés au sein de chaque sous-effectif de notre étude montrent que, pour cette variable, nous pouvons tolérer l'hypothèse nulle de normalité de la distribution. D'ailleurs, ces résultats sont repris dans le tableau ci-dessous ; vous verrez que chaque valeur « p » étant supérieure à 0.05 nous devons tolérer l'hypothèse nulle des tests de normalité réalisés. Nous vous présentons l'entièreté des 25 résultats en annexe n°11.

Tableau 18 : Test de normalité de Shapiro-Wilk intra-groupes sur la variable transfert

Test de normalité de Shapiro-Wilk (variable transfert)				
Variables	N	D max	W	Valeur p
Exemple	46	0.112435	0.960832	0.123511
Reformulation	41	0.095470	0.951410	0.078439
Analogie proche	47	0.114255	0.971518	0.302280
Analogie médiane	43	0.107996	0.970922	0.340027
Analogie distale	44	0.146508	0.963254	0.172051

5.5. Comparaison des groupes expérimentaux

L'hypothèse de normalité de la distribution de notre effectif complet pouvant être réfutée, il est nécessaire de se tourner vers un test non-paramétrique afin de comparer les différentes conditions de notre étude. Notre variable indépendante de classement est la variable nominale à cinq modalités « qualité de l'étayage » et correspond à nos trois conditions expérimentales et nos deux conditions contrôles. Nos variables dépendantes – mémorisation, compréhension (proche, médiane ou distale), et transfert – sont métriques. Nos échantillons au sein de ces cinq conditions sont indépendants. Ayant fait ces constats, et en référence à F. P. Pérée (2013), le test de l'ANOVA de Kruskal-Wallis est adapté à notre situation. Le test des Médianes peut constituer une alternative à ce test, mais tout en étant considéré comme moins puissant et moins fiable. Les 5 tests de Kruskal-Wallis réalisées pour chaque variable dépendante mènent à des résultats d'une grande hétérogénéité. Les tableaux et résultats statistiques complets sont présentés en annexe n°12.

Notre désir d'identifier l'impact de la variable expertise sur l'efficacité de nos conditions expérimentales nous mène indéniablement sur la voie des tests paramétriques permettant une telle analyse. En vigueur des histogrammes de fréquences proposés en annexe n°10 montrant une tendance de toutes les distributions vers la loi Normale – hormis pour celle de la variable compréhension distale qui s'en éloigne, tout de même, relativement fort –, nous avons décidé d'adjoindre à ces tests non-paramétriques la réalisation des tests paramétriques correspondant ; c'est-à-dire des ANOVA simples à un facteur. Les résultats de ces tests seront comparés aux résultats obtenus sur base des tests non-paramétriques. Si ces résultats mènent aux mêmes conclusions, nous nous permettrons, avec toutes les réserves nécessaires à l'utilisation d'un test paramétrique au sein d'un échantillon anormalement distribué, d'utiliser un test paramétrique afin d'identifier l'impact de la variable expertise sur l'efficacité de nos conditions. Les tableaux et résultats statistiques complets des 4 ANOVA simples à un facteur réalisées pour chaque variable dépendante dont l'histogramme tend vers une loi Normale vous sont présentés en annexe n°13.

Précisons que des tests de Levene ont été réalisés afin de vérifier l'homogénéité des variances des différentes variables ; les valeurs « p » de ces tests étant toutes supérieures à 0.05, nous ne pouvons pas rejeter l'hypothèse nulle d'homogénéité des variances, ce qui nous mène à utiliser, par la suite, des ANOVA et des tests post-hoc classiques. Nous vous présentons également ces résultats en annexe n°13.

5.5.1. Variable mémorisation

Pour la variable mémorisation, la statistique non-paramétrique **H (4, N=221)** est équivalente à **9.59**. Cette valeur statistique correspond à une valeur « p » de **0.47** et nous permet donc de **rejeter**

l'hypothèse nulle d'égalité des distributions. Nous pouvons donc en conclure qu'il existe une différence entre les conditions expérimentales vis-à-vis de la variable mémorisation. Autrement dit, au moins une des conditions mises à l'épreuve dans notre étude a abouti à une tendance centrale différente des autres conditions quant à la variable mémorisation. Sur base du tableau n°9 présentant les indices statistiques descriptifs relatifs à la variable mémorisation, il semble que cette différence soit à l'avantage des conditions analogiques « médiane » ou « distale » dont la valeur de la médiane est supérieure à la valeur des médianes des autres conditions expérimentales. Après une comparaison multiple des différents groupes (présentée en annexe n°12) et la réalisation de 10 tests U de Mann-Whitney (présentés en annexe n°14) afin de comparer chaque groupe entre eux (Albert, 2005), nous avons pu constater que la différence est surtout à l'avantage de l'analogie distale. En effet, avec une valeur « p » de 0.051626 issue de la comparaison multiple (ou de 0.004316 sur base du test U de Mann-Whitney⁷⁴), on peut rejeter l'hypothèse nulle, avec un alpha de 10% (5% pour les tests U), d'égalité entre les conditions « analogie distale » et « exemple » en défaveur de cette dernière.

La réalisation du test paramétrique de l'ANOVA à 1 facteur mène à des résultats relativement consistants avec ceux issus des tests non-paramétriques sur la variable mémorisation. En effet, la statistique ajustée du R^2 étant équivalente à **0.0237** et la statistique F étant équivalente à **2.334**, la valeur « p » calculée est égale à **0.056706** ; ce qui nous permet de **rejeter, à un seuil de significativité alpha de 10%, l'hypothèse nulle d'égalité des moyennes** des différentes conditions vis-à-vis de la variable dépendante « mémorisation ». La réalisation des deux tests post-hoc en vigueur dans notre situation – le test de Newman-Keuls étant donné que notre variable (facteur) indépendante nominale possède 5 modalités et le test de Tukey HSD pour N différents étant donné que nous ne possédons pas des effectifs équivalents dans chaque condition – montrent également une supériorité de l'analogie distale sur l'exemple avec des valeurs « p », toutes les deux, égales à 0.051.

5.5.2. Variable compréhension proche

Pour la variable compréhension proche, la statistique non-paramétrique H (**4, N=221**) est équivalente à **7.77**. Cette valeur statistique correspond à une valeur « p » de **0.1** et nous permet, en remontant le seuil alpha 10%, de **rejeter l'hypothèse nulle d'égalité des distributions**. Nous pouvons donc en conclure qu'il existe une différence entre les conditions expérimentales vis-à-vis

⁷⁴ Afin de tenir compte du fait que l'on réalise plusieurs tests consécutifs, il est nécessaire de pénaliser notre valeur « p ». A cette fin, nous pouvons utiliser la correction de Bonferroni qui ajuste le niveau de significativité en le divisant par le nombre de tests effectués. Le seuil alpha étant conventionnellement de 5% et les tests consécutifs effectués étant au nombre de 10, le seuil de significativité des Test U de Mann-Whitney effectués ici devient égal à « 0.5 % ».

de la variable compréhension proche. Le tableau n°10 nous présente des indices statistiques allant en faveur des trois conditions analogiques vis-à-vis de la variable « compréhension proche ». Après une comparaison multiple des différents groupes (présentée en annexe n°12) et la réalisation de 10 tests U de Mann-Whitney afin de comparer chaque groupe entre eux, nous avons pu constater que les différences entre les conditions semblent être en faveur de l'analogie distale et en défaveur de l'exemple, mais sans pour autant obtenir des valeurs « p » réellement significatives. En effet, la valeur « p » reliant ces deux conditions est de 0.25 lors de la comparaison multiple et de 0.0309 lors des tests U de Mann Whitney ; mais pour ces tests, il est nécessaire d'ajuster le seuil alpha à 0.005 afin de tenir compte de la succession des 10 tests sur base de la correction de Bonferroni.

La réalisation du test paramétrique de l'ANOVA à 1 facteur mène à des résultats relativement identiques à ceux issus des tests non-paramétriques sur la variable compréhension. En effet, la statistique ajustée du R^2 étant équivalente à **0.0275** et la statistique **F** étant équivalente à **2.554**, la valeur « p » calculée est égale à **0.0399** ; ce qui nous permet de **rejeter, à un seuil de significativité alpha de 5%, l'hypothèse nulle d'égalité des moyennes** des différentes conditions vis-à-vis de la variable dépendante « compréhension proche ». Le test post-hoc de Tukey HSD pour N différents nous montre, à un seuil de significativité alpha de 10 %, une **supériorité de l'analogie distale** sur l'exemple avec une valeur « p » de 0.0557. Le test de Newmann-Keuls va également dans ce sens mais avec des résultats plus significatifs et une valeur « p » de 0.0359.

5.5.3. Variable compréhension médiane

Pour la variable compréhension médiane, la statistique non-paramétrique **H (4, N=221)** est équivalente à **5.28**. Cette valeur statistique est associée à une valeur « p » de **0.260** et ne nous permet **pas de rejeter l'hypothèse nulle d'égalité des distributions**. Nous ne pouvons donc pas conclure à une différence entre les conditions expérimentales. Le test des Médianes et le test paramétrique de l'ANOVA à 1 facteur mènent à des résultats cohérents avec ces derniers et ce avec une valeur « p » de respectivement 0.5713 et 0.4085.

5.5.4. Variable compréhension distale

Les résultats obtenus pour la variable compréhension distale sont analogues à ceux obtenus pour la variable compréhension médiane. En effet, la statistique non-paramétrique **H (4, N=221)** associée à cette variable est équivalente à **2.30**. Cette valeur statistique est associée à une valeur « p » de **0.680** qui ne nous permet **pas de rejeter l'hypothèse nulle d'égalité des distributions**. Nous ne pouvons donc pas conclure à une différence entre les conditions expérimentales vis-à-vis de cette variable. Le test des Médianes et mène à des résultats identiques avec une valeur « p » de respectivement 0.9767. Le test paramétrique n'a pas été réalisé en vertu de la distribution anormale

de notre échantillon face à la variable « compréhension distale » ; l'histogramme des fréquences présenté en annexe n°10 ne permettant pas de discerner une quelconque tendance normale.

5.5.5. Variable transfert

Pour la **variable transfert**, la statistique non-paramétrique **H (4, N=221)** est équivalente à **7.55**. Cette valeur statistique est associée à une **valeur « p » de 0.109** et ne nous **permet pas de rejeter l'hypothèse nulle d'égalité des distributions**. Le test paramétrique de l'ANOVA à 1 facteur mène à des résultats consistants avec ces derniers ; avec une valeur « p » de 0.110760, nous ne pouvons pas rejeter l'hypothèse nulle d'égalité des moyennes.

Par contre, **le test des Médianes nous permet de rejeter l'hypothèse nulle d'égalité des médiane et ce avec une valeur « p » de 0.0491**. Nous pouvons donc en conclure qu'il existe une différence entre les conditions expérimentales vis-à-vis de la variable transfert. Les indices statistiques descriptifs présentés au sein du tableau n°13 semblent indiquer une supériorité de l'analogie distale sur les autres conditions. Les valeurs « p » associées à la comparaison multiples et aux 10 tests U de Mann Whitney semblent plaider en faveur de ce constat, sans pour autant être réellement significatives.

5.6. Effets d'interaction avec d'autres variables indépendantes

Lors de la formulation de nos hypothèses, nous avons souligné l'impact possible de la variable expertise sur l'efficacité de nos conditions expérimentales pensant que :

- ✚ plus un sujet serait expert du domaine dont est issu le concept cible, plus une analogie proche lui serait profitable comparativement aux autres conditions ;
- ✚ plus un sujet serait un novice vis-à-vis du domaine dont est issu le concept cible, plus une analogie distale lui serait profitable comparativement aux autres conditions.

Dès lors, nous avons testé cet effet d'interaction entre les variables en nous posant la question : « *la variable indépendante « qualité de l'étayage » (analogie proche, analogie médiane, ...) a-t-elle un effet différent sur les variables dépendantes « mémorisation, compréhension et transfert » en fonction du degré d'expertise des sujets estimé sur base du nombre d'heures de cours de sciences qu'ils suivent chaque semaine (variable indépendante 2) ?* »

Afin de distinguer s'il existe, ou non, un effet d'interaction entre les variables indépendantes « qualité de l'étayage » et le « nombre d'heures de sciences par semaine » sur les variables dépendantes étudiées dans le cadre de notre étude, deux ANOVA factorielles peuvent être réalisées. La première considère la variable « degré d'expertise » comme une variable nominale dichotomique répartissant les élèves entre les « sciences faibles » et les « sciences fortes ». Les résultats de cette analyse montrent des effets simples de la variable « qualité de l'étayage » avec une valeur « p » de

0.09197 et de la variable « type de science » avec une valeur « p » de 0.000003. Nous pouvons donc rejeter l'hypothèse nulle d'égalité des moyennes des groupes expérimentaux sur les variables dépendantes évaluées et ce avec un seuil alpha de 10 % ainsi que l'hypothèse nulle d'égalité des moyennes entre les étudiants du groupe « sciences faibles » et du groupe « sciences fortes ». Par contre, pour ce qui est des effets d'interaction entre les variables « qualité de l'étayage » et « type de sciences », la statistique F (dl 16) de 1.0802 obtenue est associée à une valeur « p » de 0.3703 qui nous mène à ne pas rejeter l'hypothèse nulle ; il ne semble donc pas y avoir d'effets d'interaction entre les deux variables nominales indépendantes.

La seconde ANOVA factorielle réalisable dans cette optique considère la variable « degré d'expertise » comme une variable nominale à 6 modalités (3 heures de sciences par semaine, 6 heures de sciences par semaine, 7 heures de sciences par semaine, 8 heures de sciences par semaine, 9 heures de sciences par semaine et 10 heures de sciences par semaine). Il est vrai que cette variable pourrait être considérée comme métrique. Néanmoins, avec une telle conception, il faudrait considérer que le degré d'expertise scientifique des élèves soit doublé lorsque ceux-ci ont 6 heures de sciences au lieu de 3 heures par semaine ; hors, une telle conception est difficilement défendable. Les résultats de cette analyse montre des effets simples de la variable « nombre d'heures de sciences » avec une valeur « p » de 0.000290. Nous pouvons donc rejeter, à l'instar de notre première ANOVA factorielle, l'hypothèse nulle d'égalité des moyennes entre les étudiants et ce selon le nombre d'heures de sciences qu'ils ont chaque semaine à l'école. Par contre, pour ce qui est des effets d'interaction entre les variables « qualité de l'étayage » et « nombre d'heures de sciences par semaine », la statistique F (dl 65) de 0.998648 obtenue est associée à une valeur « p » de 0.482027 qui nous mène à ne pas rejeter l'hypothèse nulle ; il ne semble donc pas y avoir d'effets d'interaction entre les deux variables nominales indépendantes. Précisons que dans le cadre de ces analyses nous avons dû nous délester de deux de nos sujets qui n'ont pas accepté de partager ces données personnelles (options et nombre d'heures de sciences par semaine).

Dans le même ordre d'idée, nous avons testé d'éventuels effets d'interaction entre d'autres variables sur base des données recueillies dans le cadre de notre étude. Nous nous sommes d'abord posé la question suivante : « *la variable indépendante « qualité de l'étayage » (analogie proche, analogie médiane, ...) a-t-elle un effet différent sur les variables dépendantes « mémorisation, compréhension et transfert » en fonction du sexe des sujets (variable indépendante 2) ?* » Les résultats de l'ANOVA factorielle réalisée à cette fin nous montrent des effets simples et significatifs des variables catégorielles « sexe » et « condition expérimentale » sur les différentes variables dépendantes. Cependant, aucun effet d'interaction entre ces deux variables dépendantes n'a pu être identifié. Ensuite, nous avons testé la possibilité d'une interaction entre les variables « établissement scolaire » et « qualité de l'étayage ». Après avoir

décélé deux effets simples des deux variables dépendantes, l'ANOVA factorielle réalisée dans ce cadre ne nous a pas permis d'identifier d'interaction significative entre les deux variables catégorielles. Enfin, aucun effet simple n'a été identifié pour la variable « année d'étude ». L'ANOVA factorielle réalisée n'a également pas pu identifier d'interaction significative entre cette variable et la variable « qualité de l'étayage ».

Nous vous proposons les tableaux et résultats statistiques complets de cette partie au sein de l'annexe n°15.

5.7. Quelques résultats qualitatifs

Lors de la correction et du codage des réponses qualitatives des sujets, nous avons pu observer quelques éléments dont la récurrence ou dont la relation qu'ils entretiennent avec l'une des conditions de notre étude n'est peut-être pas due au hasard. Nous les présentons dans cette partie et sur base d'extraits de réponses obtenues de la part de nos sujets ; les questionnaires complets – et les grilles de codage s'y référant – dont sont issus ces extraits vous sont présentés en annexe n°16.

5.7.1. Phénomènes d'interférence avec l'analogie proche

Pour certains sujets ayant bénéficié de l'analogie proche afin d'étayer le concept de fission nucléaire, des phénomènes d'interférence ont pu être constatés entre le mode de fonctionnement de la centrale nucléaire et celui des fusées nucléaires.

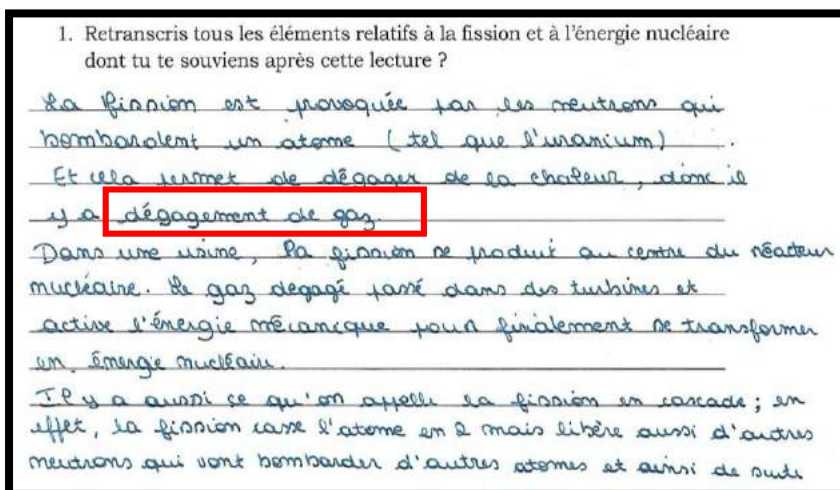


Figure 6 : Réponse de LULI2307 à la question n°1

provoqué au sein des fusées pour créer de l'énergie cinétique permettant l'ascension de cette dernière. La fission et la chaleur qu'elle produit participe à chauffer le gaz qui y est contenu d'origine. La fission n'est pas à l'origine de ce gaz.

Pour le sujet « LULI2307 », cette interférence se manifeste en ajoutant le phénomène de « dégagement de gaz » au concept spécifique de « fission nucléaire ». Pourtant, physiquement parlant, il n'en est rien. Ce dégagement de gaz est

Pour « MADE1506 », cette interférence se manifeste lors de la question numéro 5 évaluant ses capacités de transfert. Selon elle, ce qui fait qu'une bombe est qualifiée de nucléaire est le fait qu'elle possède un dispositif de lancement et de guidage analogue à celui de la fusée nucléaire. Pour elle, comme le montre l'extrait que nous vous proposons ci-dessous, une bombe nucléaire n'utilise donc l'énergie nucléaire que pour produire de l'énergie cinétique et non pour dégager une grande quantité d'énergie sur un court laps de temps et ainsi provoquer une explosion.

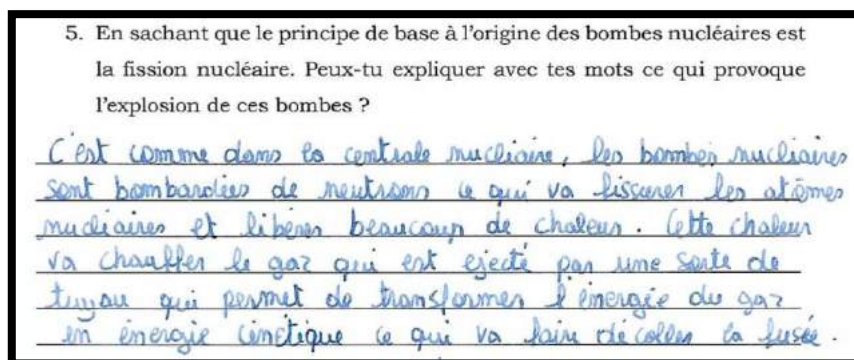


Figure 7 : Réponse de MADE1506 à la question n°5

Dans le même ordre d'idée, certains sujets – comme par exemple, LACO0505 et EVVA1703 – ont confondu l'énergie mécanique produite par les turbines des centrales nucléaires à l'énergie cinétique produite par les fusées.

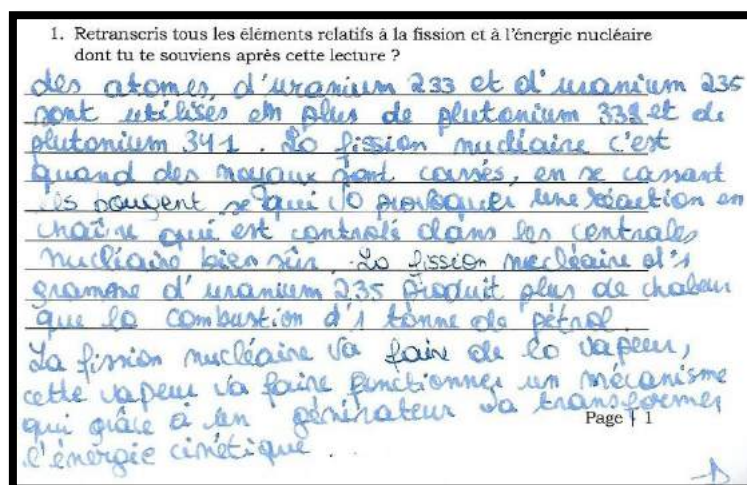


Figure 8 : Réponse de EVVA1703 à la question n°1

5.7.2. Phénomènes d'interférence avec l'analogie médiane

Une interférence souvent constatée dans le cadre des réponses obtenues des élèves est celle consistant à décrire le plutonium, l'uranium, ... comme des molécules – voire même des cellules – au lieu de les catégoriser comme des atomes. Quatre de ces interférences ont été constatées au sein des réponses des sujets ayant bénéficié de la condition analogie médiane ; comme nous vous le

montrons à la page suivante avec l'extrait issu des réponses d'AULI1306, mais aussi, en annexe n°13, avec le questionnaire de MADU2808. Précisons qu'un sujet de groupe analogie distale et qu'un sujet du groupe exemple ont également catégorisé le plutonium et l'uranium comme étant des molécules ou des cellules.

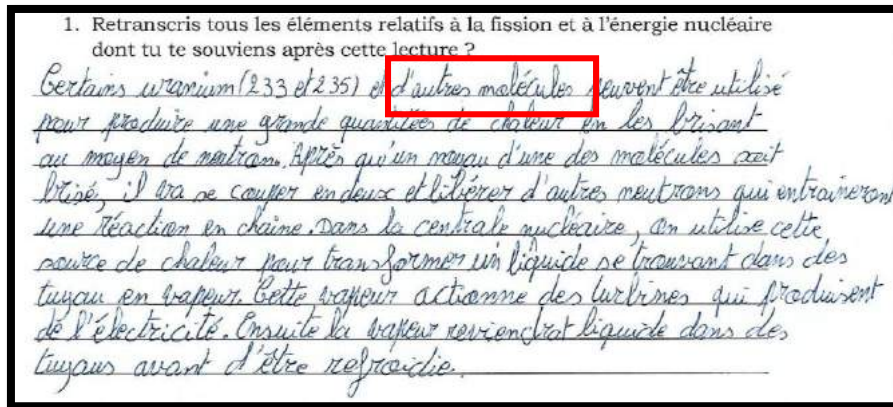


Figure 9 : Réponse de AULI1306 à la question n°1

5.7.3. Interférence avec le sigle de « radioactivité »

Nous avons également pu observer des interférences, et ce quel que soit le groupe expérimental, entre le sigle de « radioactivité » que nous avons proposé dans chacune de nos conditions et le schéma des différentes phases de la fission que nous avons demandé aux sujets de réaliser afin de faire preuve de leur compréhension. En effet, quelques sujets ont représenté l'atome nucléaire avec ce sigle ; certes le centre de ce sigle représente bel et bien un atome nucléaire, mais pour les trois sixièmes de disque tronqué qui l'entourent, ils représentent l'activité atomique et radioactive des combustibles nucléaires, ce qui n'a pas vraiment sa place dans un schéma scientifique. Nous vous montrons un exemple de cette interférence ci-dessous.

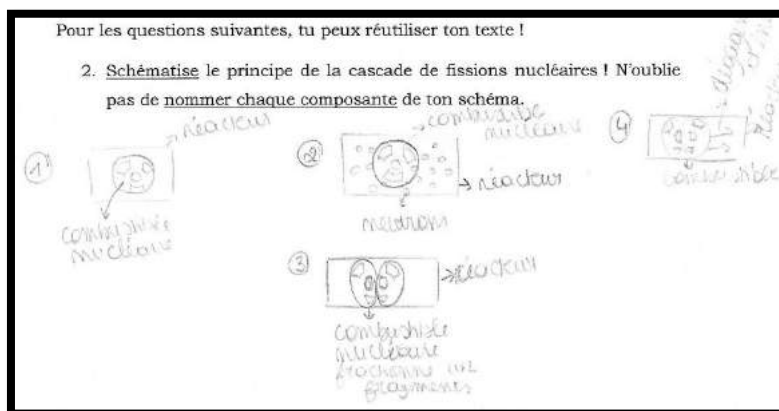


Figure 10 : Réponse de FLKL2910 à la question n°2

5.7.4. Présence d'informations contextuelles non nécessaires

Nous avons également pu observer qu'en présence d'analogies ou d'exemples, certains sujets ont tendance à retenir des informations contextuelles non nécessaires à la compréhension du concept. A titre d'exemple, ARHE2601 retient de la fission et de l'énergie nucléaire, entre autres, les caractéristiques de l'exemple que nous lui avons proposé relatif aux trois tours de refroidissement des centrales de Tihange.

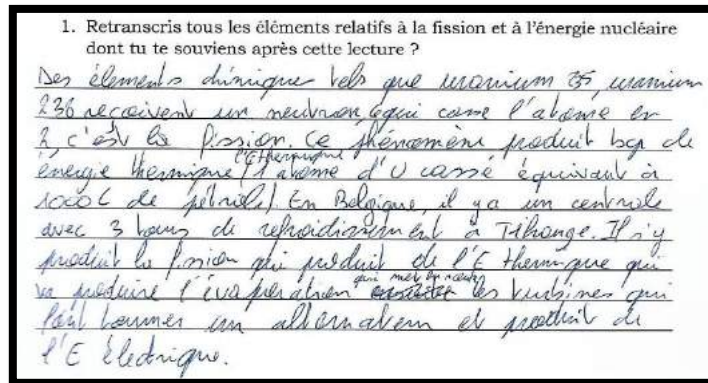


Figure 11 : Réponse de ARHE2601 à la question n°1

CLDU2609 a, quant à elle, retenu et restitué des éléments relatifs à l'analogie proche que nous lui avons proposée. En effet, elle relate de la fission nucléaire qu'elle permettra peut-être un jour à l'homme de voyager sur la planète Mars. Ces informations ne sont pas essentielles quant à la description du concept de fission nucléaire et, plus largement, du concept d'énergie nucléaire.

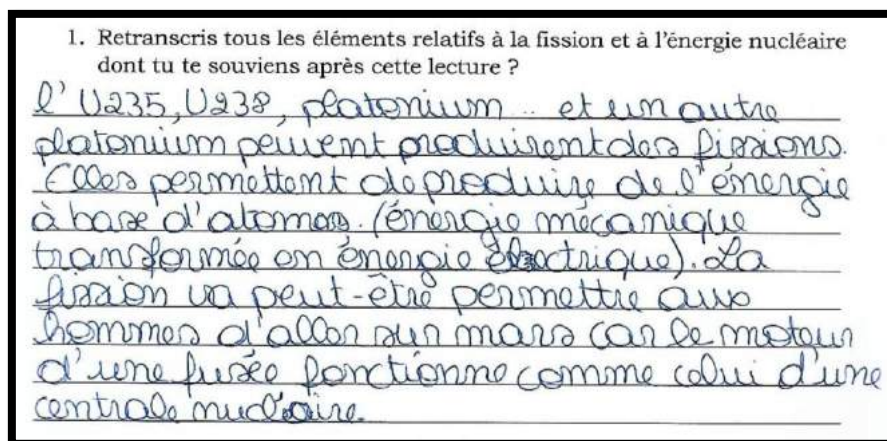


Figure 12 : Réponse de CLDU2609 à la question n°1

6. Discussion

6.1. Introduction

Notre étude porte sur un effectif large de 221 sujets (N) ayant de 15 à 20 ans et étant tous étudiants dans l'enseignement secondaire – libre subventionné ou officiel subventionné – ordinaire du troisième degré (cinquième et sixième secondaire) de la Fédération Wallonie-Bruxelles. Trois écoles distinctes ont participé à notre étude ($n_{\text{école 1}} = 58$; $n_{\text{école 2}} = 55$; $n_{\text{école 3}} = 108$) et nous ont proposé de rencontrer l'entièreté de leurs élèves toutes options confondues (des sciences fortes, au Latin-Grec, tout en passant par les options théâtrales, les langues modernes, les sciences économiques, les sciences sociales, ...). Plus précisément, notre effectif est composé de : 62.89 % ($n = 139$) de filles pour 37.11 % ($n = 82$) de garçons ; 89.5 % d'élèves ($n = 196$) suivant les cours de sciences faibles (3 heures de sciences par semaine) face à 10.5 % d'élèves ($n = 23$) suivant les cours sciences fortes et ayant un nombre d'heures de sciences variant entre 6 et 10 heures par semaine ; 57.01 % ($n = 126$) d'élèves de cinquième secondaire ordinaire et 42.99 % ($n = 95$) d'élèves de sixième secondaire ordinaire. Nos investigations, dans ces trois contextes, se sont étalées sur deux mois et demi entre fin janvier 2017 et fin mars de la même année. Les écoles participantes sont séparées entre-elles d'une quinzaine de kilomètres maximum et sont implantées dans deux provinces belges distinctes : la province de Namur et la province de Liège.

Nous avons testé l'efficacité de l'analogie sur différentes variables relatives à l'apprentissage : la mémorisation, la compréhension et le transfert. Pour la compréhension, le constat peut être fait que cette variable peut être évaluée à différents niveaux. Un premier niveau, celui que nous avons qualifié de « proche », évalue la compréhension directe du concept cible sur lequel repose l'analogie. Deux autres niveaux, tous les deux plus éloignés du concept cible de l'analogie, tentent d'évaluer si cette compréhension directe du concept cible peut contaminer, de façon positive ou négative, la compréhension d'éléments qui s'éloignent de ce concept ; nous qualifierons de compréhension distale la compréhension d'un élément n'étant plus en lien direct avec le concept cible et de compréhension médiane la compréhension d'un élément faisant, certes, intervenir le concept cible de l'analogie mais également des concepts qui en découlent.

Afin d'évaluer l'impact des analogies sur ces variables, nous avons mis en place – en référence à White et Sabarwal (2014) – une étude suivant un design quasi-expérimental afin de comparer l'impact des analogies (groupes expérimentaux) à l'impact d'étayages plus traditionnels (reformulation ou exemple) des contenus d'enseignement (groupes contrôles). Notre hypothèse étant qu'une analogie distale (sémantiquement éloignée) – c'est-à-dire reliant le concept cible

inconnu à un concept source proche de la vie de tous les jours, mais très éloigné du concept cible – favoriserait l'apprentissage et mènerait ainsi les étudiants à de meilleures performances scolaires sur les trois variables dépendantes étudiées. Afin de vérifier une telle hypothèse, comparer les performances des sujets ayant reçu une analogie distale aux sujets des groupes contrôles n'était pas suffisant, il fallait également comparer les performances de ces sujets à d'autres groupes expérimentaux qui, eux aussi, auraient accès à des analogies, mais non-distales, nous avons parlé d'analogie proche quand le concept source proposé aux étudiants était directement issu du concept cible à apprendre et d'analogie médiane quand le concept source proposé aux étudiants était issu du même domaine, sans pour autant faire appel au même concept, que le concept cible.

Afin d'évaluer les variables indépendantes sélectionnées, nous avons conçu un matériel d'apprentissage sous la forme d'un texte présentant le concept cible de fission nucléaire et ce dans le contexte restreint des centrales nucléaires. Ce matériel d'apprentissage de base a été étayé soit par une reformulation, soit par un exemple concret, soit par une analogie (proche, médiane ou distale) toutes identiques d'un point de vue quantitatif (nombre de mots). Chaque sujet a reçu un seul et unique matériel, le type d'étayage reçu dépendant du groupe expérimental ou contrôle dans lequel il a été aléatoirement assigné. Une fois ce matériel d'apprentissage lu par les étudiants, nous leur avons proposé un questionnaire composé de cinq questions ouvertes ; chacune de ces questions évaluant, respectivement, la mémorisation, la compréhension proche, la compréhension médiane, la compréhension distale, et le transfert. Une grille d'évaluation et de codage a été construite afin de transformer les données qualitatives reçues de la part des sujets en données quantitatives statistiquement comparables. Des professionnels des sciences ont été contactés dans le cadre de la construction du matériel, mais aussi dans le cadre la conception de la grille de codage.

Des informations personnelles sur les sujets ont été récoltées de façon systématique afin d'identifier leur impact éventuel sur nos résultats. A ce titre, nous avons demandé aux sujets : leur sexe, leur école, leur âge, leur année d'étude, leurs options et le nombre d'heures de sciences qu'ils suivent par semaine.

De nombreux tests statistiques ont été réalisés dans le cadre de notre étude et quelques données qualitatives ont été récoltées de manière incidente. Dans cette partie, nous allons discuter successivement, de nos résultats quantitatifs (la comparaison des conditions expérimentale, l'impact de la variable expertise), de nos résultats qualitatifs (interférences, ...), mais aussi des éventuels biais auxquels notre étude a pu être soumise.

6.2. Une supériorité apparente de l'analogie distale ?

6.2.1. Une tendance de la distribution vers la Loi Normale

La première étape de nos études statistiques consistait à vérifier les conditions d'application des tests statistiques afin de nous aiguiller vers les voies paramétriques ou vers les voies non-paramétriques.

Dans cette optique, des tests de Grubbs ont été réalisés afin d'identifier la présence de points atypiques dans nos distributions ; précaution nécessaire à la prise en compte adéquate et pertinente des indices statistiques descriptifs (Albert, 2005 ; Grubbs, 1969). En effet, un tel test vérifie la présence de données aberrantes dans nos échantillons et nous propose, sur Statistica, de les filtrer afin d'obtenir des données statistiques descriptives non-impactées par ces valeurs. Les tests de Grubbs que nous avons réalisés nous permettent de conclure en une absence de valeur aberrante pour l'ensemble de notre échantillon ($N = 221$) et ce pour toutes variables confondues. Afin d'obtenir des résultats plus précis, nous avons réitéré ces tests au sein de chaque groupe (expérimental et contrôle) de notre étude et nous sommes arrivés aux mêmes conclusions, hormis pour la variable « compréhension proche » où il semble, avec des résultats significatifs, qu'elle soit marquée de points atypiques. Un filtrage des données relatives à cette variable nous mène à ne plus tenir compte des valeurs « minimales » de sa distribution ; ce qui, parallèlement, provoque une hausse des indices statistiques descriptifs relatifs à cette variable. Le choix s'est alors posé à nous de continuer la suite de nos analyses avec ou sans ce filtrage des données (Albert, 2005). Continuer nos analyses sans inclure ces valeurs extrêmes revient à les considérer comme inintéressantes et non pertinentes à étudier (Grubbs, 1969 ; Grubbs, 1974). Qui plus est, supprimer ces valeurs minimales revient à se poser la question de l'impact de ces valeurs au sein des autres variables et surtout de leur nécessité dans nos distributions. Résultant de l'analyse des réponses d'élèves et n'ayant aucun rapport avec des variables relatives au « manque de temps pour réaliser le test » ou à la « non-réponse », ces données représentent bel et bien un pan de la population scolaire qu'il est, selon nous, nécessaire de prendre en compte. Enfin, il appert que la non-prise en compte des valeurs atypiques au sein des seules deux conditions dont l'hypothèse nulle est rejetée peut engendrer des différences statistiques non représentatives de nos distributions de valeurs pour cette variable. Face à ces constats, nous avons décidé de continuer la suite de nos analyses sans prendre en compte le filtrage de nos données atypiques.

Des tests de Lilliefors et des tests de Shapiro-Wilk ont été réalisés afin de, successivement, vérifier la normalité des distributions des 5 variables dépendantes de notre étude sur la totalité de notre échantillon et vérifier la normalité des distributions des 5 variables dépendantes de notre étude au

sein des sous-groupes correspondant aux conditions expérimentales et contrôles. Pour chacun de ces tests, les valeurs « p » correspondant aux statistiques D étant inférieures à 0.05, nous avons pu rejeter l'hypothèse de normalité de nos distributions pour toutes les variables dépendantes – à l'exception de la variable transfert qui semble normalement distribuée au sein des sous-effectifs de notre étude, mais pas au sein de l'effectif total – et ce indépendamment du fait que le test prenait en compte la totalité de notre échantillon ou les différents groupes expérimentaux de celui-ci. Néanmoins, les histogrammes des fréquences des différentes variables montrent une tendance de nos distributions vers la Loi Normale ; hormis peut-être pour la variable compréhension distale. Les résultats des tests statistiques de Shapiro-Wilk et de Lilliefors rejetant cette tendance normale, il est essentiel de comparer les groupes de notre étude sur base d'un test non-paramétrique. Par la suite de notre étude cependant, nous désirions tester, à minima, l'impact du facteur « expertise » sur nos résultats et, parallèlement, sur l'efficacité des différents types d'analogies. Une telle entreprise nécessite l'utilisation de tests paramétriques ; or en état, la non-normalité statistique de nos distributions nous empêche d'y recourir. C'est pourquoi, nous avons décidé de coupler chaque test non-paramétrique de comparaison simple des groupes expérimentaux (ANOVA de Kruskal-Wallis voire Test des Médianes) à son équivalent paramétrique (ANOVA à un facteur) ; nous considérerons alors une équivalence entre les résultats de ces tests paramétriques et non-paramétriques comme le signe tangible que nos distributions tendent assez vers la Loi Normale que pour continuer nos analyses sur base de tests paramétriques.

Nous n'avons pas réalisé cette comparaison entre l'ANOVA de Kruskal-Wallis et l'ANOVA à un facteur dans le cadre de nos analyses statistiques sur la variable dépendante compréhension distale. En effet, la distribution de cette variable s'éloigne de la Loi Normale et ce d'un point de vue statistique (résultats au test du Shapiro-Wilk et au test du Lilliefors), mais aussi d'un point de vue graphique. Le graphique des fréquences de cette variable montre une importante concentration des observations au niveau de la moyenne et au niveau des valeurs minimales ; nous sommes dès lors face à une distribution proche d'une distribution bimodale (Haccoun & Cousineau, 2007). La haute concentration de sujets dans les valeurs minimales de cette variable s'explique aisément au regard de la question cherchant à l'évaluer et, surtout, de la grille de codage s'y référant. Effectivement, la question n°4 de notre questionnaire demande aux élèves de donner et d'explicitier leur avis quant à la nature polluante de la fumée se dégageant des tours de refroidissement des centrales nucléaires. Dès lors, n'ont des « points » à cette question que les élèves qui répondent « non, cette fumée n'est pas polluante » et acquièrent, parallèlement, les deux points de l'item « M » de notre grille de codage. Une fois cet item acquis, leur explication leur permettra d'acquérir plus ou moins de points pour cette variable. Par contre, pour ceux ayant mal répondu à l'item « M » et pensant « oui, cette fumée

est polluante » n'ont, presque indéniablement, pas compris la nature, la provenance, la fonction et la non-entrée en contact de cette « fumée » avec les combustibles radioactifs. Dès lors, souvent un « 0 » donné à l'item « M » implique des « 0 » aux items « N », « O », « P » et « Q » et, par voie de conséquence, un « 0 » à cette question. Il n'y a eu que très peu de cas où une mauvaise réponse à l'item « M » était accompagnée de bonnes réponses aux items suivants ; hormis pour les quelques-uns qui, ayant bien compris la nature, la provenance et la fonction de « fumée », ont cru que cette fumée avait été en contact avec les éléments radioactifs et que, du coup, elle était dangereuse pour la santé et polluante. On pourrait presque parler ici de phénomène de dépendance entre les items de la grille de codage pour cette question (Monseur, 2013). Malheureusement, comme le souligne ce même auteur, ce type d'items et, ici, la distribution bimodale qui en résultent peuvent être à l'origine de biais statistiques : d'une part la variabilité des résultats en sera surestimée et, d'autre part, les élèves faibles, ayant plus de chances d'échouer au premier item que des élèves forts, verraient leur chance de réussite aux items suivants diminuer, ce qui mènerait à une sous-estimation des résultats des élèves faibles vis-à-vis de cette variable.

6.2.2. Une analyse descriptive simple comme indicateur

Des premières analyses descriptives réalisées dans le cadre de notre étude peut émerger le constat d'adéquation entre le concept cible au centre de notre matériel d'apprentissage et notre souhait que celui-ci constitue un défi à la portée des sujets sur base du principe de la zone proximale de développement décrit par Lev Vygotski (Crahay, 2013). En effet, les moyennes obtenues par l'ensemble des étudiants (N = 221) aux différentes questions – présentées sur l'histogramme de la page suivante – et leur apparente proximité avec le milieu de nos échelles de mesure (5) ainsi que la distribution des différentes variables dépendantes tendant vers une Loi Normale sont des indicateurs du fait que le concept cible proposé aux apprenants n'était ni trop simple, ni trop complexe. En effet, dans le cas d'une extrême simplicité du matériel cible proposé aux apprenants, la moyenne de leurs résultats tendrait vers la valeur la plus haute de notre échelle de mesure des différentes variables (10) ; parallèlement, la distribution de ces variables se rapprocherait d'une courbe en « J » dans laquelle la plus grande part de l'effectif se trouverait à proximité de la valeur maximale obtenue. A contrario, dans le cas d'une extrême complexité du matériel cible proposé aux sujets, la moyenne de leurs résultats tendrait vers la valeur la plus basse de notre échelle de mesure des différentes variables (0) ; parallèlement, la distribution de ces variables se rapprocherait d'une courbe en « j » dans laquelle la plus grande part de l'effectif se trouverait à proximité de la valeur minimale obtenue.

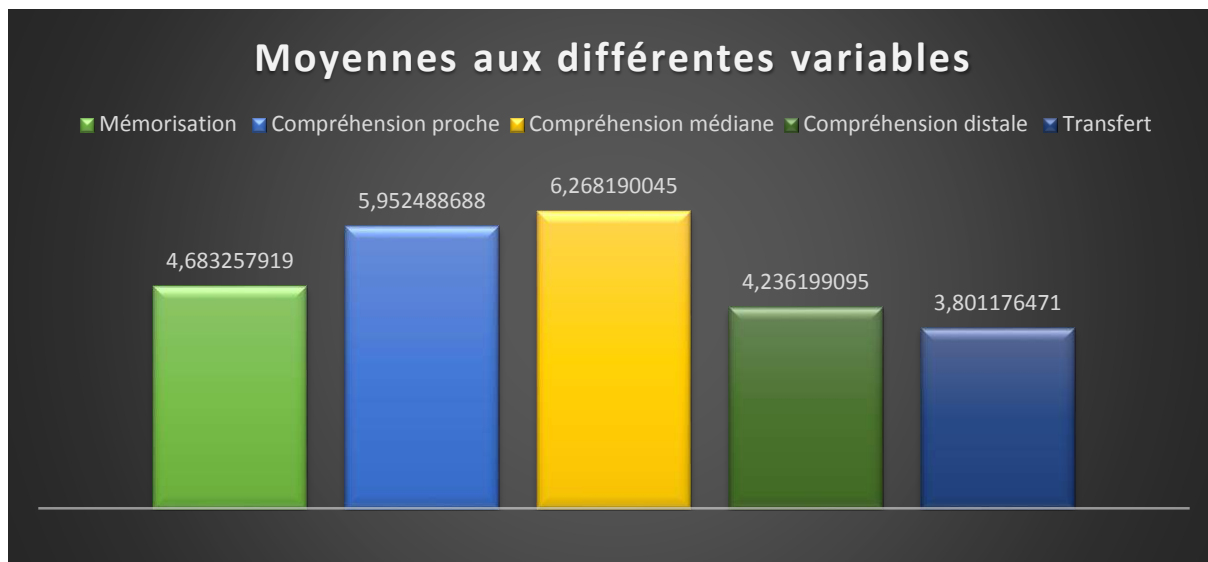


Figure 13 : Moyennes obtenues par l'ensemble des sujets (N=221) aux différentes questions

La moyenne plus faible de la question n°4 évaluant la compréhension distale s'explique par le biais de dépendance des items que nous avons identifié dans la section précédente de ce mémoire. La distribution bimodale de cette question montre qu'une importante part de la population est concentrée autour de la valeur la plus basse de notre échelle ainsi qu'autour de sa valeur centrale. Il semble dès lors, qu'une fois le premier item de la question réussi, la distribution de la population tende vers une Loi Normale dont le centre est proche de la valeur médiane de notre échelle. Nous pouvons en conclure, qu'en-dehors du biais de dépendance entre le premier item et les autres items de cette question, un effet d'« extrême complexité » ou d'« extrême simplicité » ne puisse être identifié pour cette question.

La question n°5 mesurant les capacités de transfert des apprenants se voit, elle aussi, affublée d'une moyenne relativement faible ($\bar{x} = 3.8$). Deux explications peuvent être mises en avant afin de comprendre ce phénomène. D'une part, la question ainsi que la situation et les concepts qu'elle demande aux sujets de mettre en relation peuvent s'avérer d'une trop grande complexité pour les étudiants interrogés au stade où ils sont arrivés dans leur scolarité et leur développement personnel. Les réponses obtenues des étudiants à l'item « U » semblent d'ailleurs plaider en faveur d'une telle explication. En effet, sur les 214 étudiants ayant répondu à cette question, seulement 7 ont acquis l'entièreté des points de cet item. Autrement dit, seulement 3.3 % de notre effectif a pu mobiliser les deux concepts physiques à l'origine de l'explosion d'une bombe (*dégagement important d'énergie sur un court laps de temps*). Il est alors légitime de se poser la question des réelles connaissances en physique des étudiants interrogés et de se demander si la question, en elle-même, et les items exigés par notre grille d'évaluation n'étaient pas trop complexes pour eux. Les trois premiers items de cette question ont été, quant à eux, mieux répondus et mieux atteints par notre effectif ; ces items

étaient directement en rapport avec le concept cible (*fission nucléaire*) découvert par les sujets au sein du matériel textuel qui leur a été proposé et ne nécessitaient qu'« une » application pure et dure de ce concept au sein d'une autre situation singulière que celle des centrales nucléaires : les bombes nucléaires. D'autre part, réaliser le transfert d'un apprentissage conceptuel au sein d'une autre situation ou d'un autre contexte que celui dans lequel il a été originellement plongé n'est pas chose aisée ; les nombreuses études et tentatives de modélisation de stratégies censées favoriser ce transfert en attestent d'ailleurs (Frenay & Bédard, 2011 ; Moffet, 1995 ; Strebelle, Depover & Noël, 2002 ; ...). Pourtant, dans le cadre de notre étude, hormis les étayages textuels du concept cible au centre de notre matériel d'apprentissage, aucune stratégie n'est mise en place afin de promouvoir ce transfert conceptuel dans le chef des sujets ; ce qui peut également expliquer la faible moyenne des étudiants à une question mesurant cette capacité.

Reste quand même à préciser que l'aspect motivationnel de notre matériel se doit, lui aussi, d'être discuté au regard des résultats obtenus par les étudiants à notre questionnaire. En effet, l'impact de la motivation et d'autres caractéristiques intra-individuelles (nervosité, ...) sur les performances scolaires constitue désormais un fait avéré (Chédru, 2012). Pourtant, force est de constater que les sciences physiques et, plus précisément, la fission nucléaire ne constituent pas toujours des thématiques motivantes en – et pour – elles-mêmes. Qui plus est, les conditions de testing dans les écoles donnaient l'impression aux sujets d'être en situation d'examen (ne pas recopier sur son voisin ; tenter, tant que faire se peut, de garder le silence ; répondre à des questions ouvertes d'une certaine complexité), ce qui n'était pas pour augmenter leur motivation et pouvait même, pour certains, engendrer une certaine nervosité. Des propos, récoltés lors de discussions informelles avec des sujets et des enseignants après nos testings, vont d'ailleurs dans ce sens. Nous pouvons donc faire l'hypothèse que les performances des sujets aux différentes questions de notre test ont peut-être été impactées par leur manque de motivation et, éventuellement, par une certaine nervosité.

6.2.3. Les variables de mémorisation, compréhension proche et transfert

Les tests de l'ANOVA de Kruskal-Wallis et de l'ANOVA paramétrique à un facteur mènent à des résultats relativement consistants entre eux vis-à-vis de la variable **mémorisation**. En effet, ils soulignent une différence significative entre les différentes conditions. Les tests post-hoc et les tests U de Mann-Whitney (Albert, 2005) réalisés par la suite montrent que cette différence est à l'avantage de la condition analogie distale et au désavantage de la condition exemple. De tels résultats sont analogues à ceux obtenus par Simons (1984) qui avait démontré une meilleure mémorisation du concept cible de structure moléculaire après avoir présenté ce concept en relation avec l'analogie source du biscuit émietté. Cette cohérence entre les résultats de notre étude et celle

de Simons (1984) n'est, à notre sens pas due au hasard. Effectivement, l'analogie proposée par Simons à ces sujets relie un concept cible scientifique (structure moléculaire) à une expérience de la vie de tous les jours (biscuit émietté) des sujets. L'analogie que nous qualifions de distale possède les mêmes caractéristiques en reliant la fission nucléaire à une expérience proche de la vie de tous les jours des sujets : « la réaction en chaîne réalisée sur base de pièges à souris et de balles de tennis de table ». Vosniadou & Ortony (1989) ainsi que Donnelly & McDaniel (1993 ; 2000) font d'ailleurs de ce lien, entre un concept cible inconnu et un concept source issu d'une expérience personnelle, un déterminant de l'efficacité d'une analogie sur l'apprentissage des novices. Gineste et Gilbert (1995) disent que l'analogie s'avère un outil puissant d'apprentissage lorsqu'elle active un univers sémantique et imagé chez les sujets. Il est probable, au regard de leur efficacité, que les analogies distales soient à l'origine d'une telle activation. En effet, proposant aux sujets des expériences sources qu'ils connaissent et maîtrisent, l'analogie distale leur permet d'activer un univers sémantique et imagé sur base de ces mêmes expériences ; ce qui favorise la mémorisation du concept cible. A contrario, les analogies proches et médianes nécessitent de la part des sujets une connaissance plus poussée du domaine complexe dont sont issues, à la fois, la source et la cible. Sans cette connaissance préalable, la source proposée aux apprenants ne peut que faiblement – voire pas du tout – activer un univers sémantique et imagé dans le chef de ces derniers et qui leur permettrait d'appréhender la cible dans les termes et sur base de la représentation élaborée qu'il possède de la source.

Une inquiétude peut cependant venir relativiser les résultats obtenus pour cette variable. La question utilisée pour mesurer le degré de mémorisation des étudiants a été choisie en référence à une étude significative menée par Hammadou (2000). La formulation de cette question demande aux sujets de retranscrire tous les éléments relatifs à la fission et à l'énergie nucléaire dont ils se souviennent après une première lecture du matériel textuel qui leur a été proposé. Il est clair que cette question évalue bel et bien le degré de mémorisation des apprenants. Cependant, un biais peut naître et influencer les résultats aux différents items codant cette question. Effectivement, certains sujets pourraient effectuer une sélection dans les informations qu'ils ont retenues et n'en présenter que quelques-unes, soit par une hiérarchisation sur base de l'importance qu'ils accordent aux différents contenus qu'ils ont mémorisés soit par flemmardise. La répartition strictement aléatoire des étudiants, même si elle ne supprime pas de tels effets, permet de les répartir au sein des différents groupes expérimentaux de telle façon à faire obstacle à leur influence sur les résultats de nos comparaisons statistiques.

Pour la variable **compréhension proche**, les résultats obtenus de la part des tests paramétriques et de la part des tests non-paramétriques sont cohérents entre eux. L'ANOVA de Kruskal-Wallis

souligne une différence, certes peu significative vu que nous avons dû élever le seuil alpha à 10 %, entre les différentes conditions de notre étude. L'ANOVA paramétrique rejette également l'hypothèse nulle d'égalité des groupes, mais ce avec un seuil de significativité alpha plus acceptable de 5%. Les comparaisons post-hoc et les tests U de Mann-Whitney (Albert, 2005), réalisés afin de comparer tous les groupes de notre étude deux à deux, ont, à l'instar des tests appliqués sur la variable mémorisation, mis en exergue une supériorité de la condition « analogie distale » et une infériorité de la condition « exemple ». Cette plus-value de l'analogie sur la compréhension à la lecture a déjà été démontrée par de multiples études dont, notamment, celles de Paulson (2014), de Hayes et Tierney (1982) ainsi que de Supasorn et Promarak (2015). De plus, de tels résultats semblent renforcer la thèse de Halpern, Hansen & Riefer (1990) selon lesquels une analogie ne peut promouvoir la compréhension que si elle relie deux concepts ne possédant pas (voire peu) de caractéristiques de surface communes, mais bien des relations de structures équivalentes ; or, comme nous l'avons décrit dans notre revue de la littérature, cela correspond bien à l'analogie que nous avons qualifiée de distale ou de sémantiquement éloignée.

La question n°2 de notre test possède l'avantage de vérifier et de mesurer la compréhension proche des étudiants par la représentation qu'ils se font du concept de fission nucléaire. Dès lors, nos analyses statistiques ne nous montrent pas qu'une meilleure compréhension proche de la part des sujets ayant bénéficié de l'analogie distale, mais bien une meilleure représentation du concept cible de fission nucléaire et, notamment, de la réaction en chaîne qui est au centre de ce phénomène. Une telle perspective de nos résultats est consistante avec la conception de Bean et al. (1986) de l'analogie. Selon ces auteurs, elle promeut la visualisation de phénomènes ou de concepts inconnus ; visualisation qui devrait se traduire, tangiblement, par une meilleure représentation des cibles, ce que semble démontrer notre étude et la positionne comme preuve empirique de cette conception de l'analogie.

Bean, Singer & Cowen (1985), à l'instar de Bean et al. (1986), ont montré l'effet positif des guides d'étude analogique sur la compréhension d'un concept cible par les étudiants. Ces guides d'étude ont pour principe de relier systématiquement, au sein d'un tableau, chaque élément du concept cible avec chaque élément correspondant au sein du concept source. Sans pour autant présenter ces mises en relation au sein d'un tableau, l'analogie distale que nous avons proposé aux sujets de notre étude fait, systématiquement, correspondre à chaque élément cible les éléments sources les illustrant :

*« Les **pièges à souris** représentent ici les **atomes d'uranium ou de plutonium** ; les **boulettes de papier** représentent quant à elles **les neutrons** qui, bombardés sur les atomes d'uranium ou de*

plutonium, provoquent une réaction en chaîne à l'origine de la cascade de fissions nucléaires qui produit de la chaleur. »

Ce constat nous mène à considérer un autre facteur comme déterminant de l'efficacité d'une analogie que la distance sémantique qu'elle entretient entre une cible et une source : sa présentation. En effet, la condition « analogie distale » propose une présentation de l'analogie dans laquelle une correspondance systématique est faite entre les éléments sources et les éléments cibles. La condition « analogie proche » décrit uniquement les ressemblances entre la situation source et la situation cible. Quant à la condition « analogie médiane », une analyse approfondie est proposée dans laquelle les ressemblances, mais aussi les différences majeures entre la source et la cible sont décrites. De notre étude statistique soulignant une supériorité de l'analogie distale, il semble que la présentation systématique des relations entre les éléments cibles et les éléments sources puisse être particulièrement favorable à l'apprentissage et, plus précisément, à la compréhension proche – mais aussi aux capacités de mémorisation et de transfert – des sujets. D'une part, comme nous vous l'avons montré dans le cadre des études portant sur les guides d'étude analogiques, ce constat est consistant avec l'état de l'art actuel sur le sujet. D'autre part, les présentations des deux autres analogies correspondent également à des présentations éprouvées et jugées efficaces par la recherche actuelle. Des études, comme celle réalisée par Paulson (2014), montrent un effet positif significatif d'une analogie présentant les ressemblances entre les éléments cibles et les éléments sources ; un peu à la manière de notre analogie proche. D'autres études, comme celles initiées par Schiavone (2014) et Gillis et al. (n.d.) soulignent l'importance, au-delà d'une description des ressemblances, de démontrer les différences qu'entretiennent les éléments issus de la source avec les éléments cibles.

Pour la variable **transfert**, le test paramétrique de l'ANOVA à un facteur ainsi que le test non-paramétrique de l'ANOVA de Kruskal-Wallis mènent tous les deux à des valeurs « p » ne permettant pas de rejeter l'hypothèse d'égalité entre les groupes expérimentaux. Par contre, le test des Médianes – constituant une alternative au test de l'ANOVA de Kruskal-Wallis – mène à reconsidérer cette égalité entre les groupes. En effet, avec une valeur « p » de 0.0491, nous pouvons rejeter l'hypothèse nulle et considérer qu'il existe bel et bien une différence significative entre les différentes conditions expérimentales quant à la variable transfert. Néanmoins, même s'il est avéré et mathématiquement admis que les tests non-paramétriques constituent des alternatives moins puissantes aux tests paramétriques (Monbet, 2009), de nombreux scientifiques considèrent ce test des médianes comme moins puissant que celui de l'ANOVA non-paramétrique de Kruskal-Wallis (Sauleau & Meyer, 2008) ; ce qui nous incite à discuter l'utilisation de ce test dans le cadre de notre étude. D'une part, ce test est très robuste aux écarts de normalité (Sauleau & Meyer, 2008), ce qui est en accord avec ce que nous apprennent les résultats des tests de Lilliefors et de Shapiro-Wilk.

D'autre part, même si les résultats du test paramétrique de l'ANOVA à un facteur et du test de l'ANOVA de Kruskal-Wallis ne mènent pas à des valeurs « p » permettant un rejet de l'hypothèse nulle, il appert que ces valeurs « p » sont très proches d'un seuil statistique alpha permettant ce rejet. On peut dès lors espérer qu'en augmentant notre effectif, si les résultats obtenus sont consistants entre eux, les valeurs « p » de ces deux tests descendent sous le seuil de significativité et permettent le rejet de l'hypothèse nulle. Considérant ces deux constations, nous avons décidé, avec les réserves que cela nécessite, de prendre en compte les résultats de ce test des médianes. Qui plus est, force est de constater que de tels résultats sont en cohérence avec la littérature scientifique actuelle considérant l'analogie comme un puissant vecteur de transfert (Gentner, 1983 ; Gentner, 1989 ; Gick & Holyoak ; 1983 ; McDaniel & Donnelly 1993 ; McDaniel & Donnelly ; 1996).

6.2.4. La compréhension d'éléments plus « éloignés »

Au premier abord, les résultats des tests statistiques réalisés sur les données récoltées dans le cadre des questions n°3 et n°4 de notre test peuvent sembler contre-intuitifs. En effet, là où l'analogie distale offre aux sujets une meilleure compréhension du concept cible au centre de notre matériel textuel, il semble que cette compréhension proche ne contamine pas – ni négativement, ni positivement – la compréhension d'éléments plus éloignés du concept au centre de l'analogie ; dans notre cas, le concept de fission nucléaire.

Aucun des tests statistiques réalisés dans l'optique de comparer les différents groupes de notre étude ne mène à identifier d'éventuelles différences entre les conditions expérimentales et contrôles quant aux variables relatives à la compréhension médiane et à la compréhension distale.

Le côté contre-intuitif de ces résultats n'est peut-être pas si étonnant si on les analyse au regard des théories de l'analogie plébiscitées à l'heure actuelle. Holyoak & Koh (1987, p. 332) définissent l'analogie comme un processus utilisé afin de « *générer des connaissances applicables à son nouveau domaine cible en transférant des connaissances provenant d'un domaine source qui est mieux compris* ». Dans le cadre des analogies présentées dans nos différentes conditions expérimentales, il appert que les connaissances « mieux comprises » des étudiants et leur servant de sources soutiennent la compréhension du phénomène de fission et ce partant de l'origine du phénomène (rencontre entre un neutron et un atome de combustible fissible) à la production de chaleur issue de ce phénomène en passant par la réaction en chaîne qui en résulte (cascades de fissions). A contrario, aucune de ces analogies n'est emblématique (Paulson, 2014) ; aucune d'entre elles ne soutient la compréhension du lecteur tout au long du matériel textuel en lui proposant des sources connues afin de pouvoir les appliquer à tous les éléments nouveaux du matériel et, parallèlement, d'en affiner leur compréhension. Ainsi, le fonctionnement propre de la centrale nucléaire et de ses différentes composantes n'est pas mis

en relation systématique avec des sources analogiques promouvant leur compréhension (Hayes & Tierney, 1982 ; Paulson, 2014 ; Supasorn & Promarak, 2015) et procurant, aux sujets, un univers sémantique et imagé (Gineste & Gilbert, 1995) favorisant leur visualisation et leur représentation des concepts (Bean, Singer, Cowan & Richaudeau, 1986).

Dès lors et sur base de cette analyse, cette non distinction entre l'efficacité des différents groupes expérimentaux et des différents groupes contrôles face à ces variables de compréhension médiane et de compréhension distale est tout à fait explicable. Qui plus est, ces résultats semblent plaider en faveur de la création d'analogies emblématiques (Paulson, 2014) ou, à minima, d'une mise en correspondance d'éléments sources avec tous les éléments neufs issus de la cible. Si de telles précautions ne sont pas prises, le risque existe que tous les éléments issus de la cible ne puissent être adéquatement et pertinemment compris.

6.2.5. Qu'en est-il des conditions contrôles ?

Comme nous l'avons décrit lors de la définition de nos précautions méthodologiques, la création des conditions contrôles – et expérimentales – a été soumise à un contrôle quantitatif rigoureux afin qu'aucun des matériels créés ne propose une quantité d'informations significativement différente des autres matériels. De telles précautions se sont traduites, tangiblement, par une proximité en termes de nombre de mots entre les différents étayages textuels, mais également en termes de concepts qui y sont présentés : combustibles nucléaires, bombardement de neutrons, (cascades de) fissions, production de chaleur et transformation (voire utilisation) de la chaleur.

A la différence des conditions expérimentales proposant aux sujets des analogies, les conditions contrôles proposaient soit une reformulation, soit un exemple concret intégrant le principe de fission nucléaire. Dans ce cadre, quelques informations supplémentaires ont été décrites afin proposer des conditions abouties. A titre indicatif, l'exemple concret de la centrale de Thiange propose une seconde explicitation des tours de refroidissement et du fonctionnement global des centrales nucléaires.

Quoiqu'il en soit, ces précautions nous ont permis de nous assurer que la différence principale entre les conditions de notre étude soit de nature qualitative et concerne bel et bien le type d'étayage fourni. Dès lors, les résultats et les différences statistiques décrites jusqu'à présent peuvent être interprétés comme représentatifs de l'efficacité – en termes d'apprentissage – des étayages et non comme une différence quantitative entre les informations proposées aux sujets au sein des différentes conditions.

Nos analyses statistiques ont montré à plusieurs reprises une infériorité en termes d'efficacité de la condition « exemple concret ». En état, nous pourrions en conclure à la « supériorité » de l'analogie

sur l'exemple ; mais une telle conclusion pourrait s'avérer hâtive. En effet, nous n'avons pas, au sein de la présente étude, proposé différents types de « condition contrôle exemple ». Pourtant, l'exemple court, concret et réel que nous avons choisi n'est qu'un « exemple » parmi tant d'autres possibilités (Fossion, Burlet & Faulx, 2015 ; Fossion & Faulx, 2016) : exemples fictifs, exemples vécus, exemples longs, exemples emblématiques, exemples transférables, etc. En outre, plus l'exemple sera vécu et connu des élèves, plus il est envisageable que celui-ci se rapproche d'une analogie sémantiquement proche, proposant une source connue des élèves afin de les aider à appréhender la cible inconnue et donc l'objet d'apprentissage.

La condition « reformulation » a été créée dans le but de nous permettre d'affirmer que la présentation d'une analogie ou d'un exemple est réellement source d'une plus-value et que celle-ci dépend effectivement de la qualité de l'étayage et non de la quantité d'informations. En effet, de nombreuses études avant nous ont montré une plus-value de l'analogie sur l'apprentissage et ce en les comparant aux matériaux traditionnels de cours (Hayes & Tierney, 1982 ; Simons, 1984 ; ...). Or, ces matériaux offrent bien souvent une seule explicitation des concepts cibles. L'efficacité de ces matériaux est ensuite comparée à l'efficacité des analogies qui elles, à minima, proposent deux explicitations du concept. Quantitativement parlant, les conditions s'avèrent inégales ; il est donc impossible de statuer en une réelle plus-value qualitative de l'analogie. En effet, la plus-value est peut-être simplement due à la seconde explication et ce, quelle qu'elle soit. Dans ce cadre, on peut considérer la seconde explication du concept comme une répétition de ce dernier ; or, les processus de répétition et l'enseignement en spirale en découlant sont considérés par bon nombre de chercheurs et professionnels de l'éducation comme des vecteurs d'apprentissage et de mémorisation (Fayol, 2011 ; Ministère éducation nationale enseignement supérieur recherche, 2010 ; Tileman & Grootaers, 2006). Dès lors, la présentation d'une reformulation du concept initial permet, encore plus, de contrôler l'effet probable de la quantité des informations fournies aux apprenants et de leur(s) éventuelle(s) répétition(s) et, par la même occasion, de renforcer les conclusions de notre étude. Pourtant, force est de constater que, malgré une différence globale en faveur de l'analogie distale dans l'évaluation des variables relatives à la mémorisation, la compréhension proche et le transfert, cette différence statistique est surtout en défaveur de l'exemple et non de la reformulation. Une étude plus approfondie sur base d'un échantillon plus large et plus diversifié que le nôtre pourrait confirmer ou infirmer cette supériorité de l'analogie distale sur les autres conditions telles que la condition contrôle « reformulation ».

6.3. Quid de l'impact des autres variables indépendantes ?

6.3.1. Impact du degré d'expertise

Nos hypothèses de recherche postulaient un effet d'interaction entre l'efficacité des analogies et le degré d'expertise des sujets. Les deux ANOVA factorielles entreprises afin de vérifier cette hypothèse mènent toutes les deux à des valeurs « p » ne permettant pas de rejeter l'hypothèse nulle d'absence d'interaction entre les variables « qualité de l'étayage » et « degré d'expertise ». Dès lors, il semble que l'effet de l'analogie ne soit pas différent sur la mémorisation, la compréhension et le transfert en fonction du degré d'expertise des sujets. Un tel constat est inconsistant avec les conclusions de la littérature scientifique actuelle. En effet, Vosniadou et Ortony (1983) ont montré que l'efficacité d'une analogie est intimement liée aux connaissances des sujets vis-à-vis du domaine source dont est issue la source de cette dernière. Or, le constat d'une différence significative entre les connaissances de sujets novices et de sujets experts vis-à-vis d'un domaine spécifique n'est pas à démontrer ; d'ailleurs, notre étude souligne un effet simple du « nombre d'heures de sciences par semaine » suivies par les étudiants et leurs résultats aux différentes questions de notre test. Dès lors, si on en croit l'étude menée par Vosniadou et Ortony (1983), les analogies proposées aux étudiants ne devraient pas avoir la même efficacité sur leur apprentissage selon qu'ils sont des experts ou des novices du domaine cible. Donnelly & McDaniel (1993 ; 2000) vont également dans ce sens. Selon eux, l'analogie peut être néfaste si elle ne permet pas au sujet de se rappeler de connaissances antérieures plus pertinentes afin d'appréhender le matériel cible et si, par la même occasion, elle simplifie fortement la cartographie des connaissances de ce matériel cible. Dans ce cadre, nos hypothèses auraient dû être confirmées : 1) les experts auraient dû profiter davantage d'une analogie proche étant donné que la source de cette dernière est, par définition, issue du même domaine que la cible et que, par conséquent, les sujets – experts de ce domaine – auraient pu élaborer une cartographie de connaissances complexes et se rappeler d'éléments « intra-domaines » pertinents afin d'appréhender la source ; 2) les novices auraient dû profiter davantage d'une analogie distale étant donné que la source de cette dernière est, par définition, issue d'une expérience de la vie de tous les jours de laquelle ils possèdent une bonne connaissance ; 3) les experts auraient été particulièrement défavorisés par une analogie distale qui leur aurait proposé une source issue de la vie quotidienne et aurait, irrémédiablement, simplifié la cartographie des connaissances des sujets experts tout en leur empêchant de se rappeler de sources « intra-domaines » plus pertinentes afin d'appréhender la cible ; 4) les novices auraient été particulièrement défavorisés par une analogie proche qui leur aurait proposé une source issue du même domaine que la cible et qui constitue, étant donné leur faible degré d'expertise, un matériel tout aussi neuf à appréhender que la cible d'apprentissage.

Pourtant force est de constater que nos résultats ne mènent pas à confirmer nos hypothèses et les conclusions de la littérature scientifique. Cette inconsistance peut cependant s'expliquer de trois manières distinctes. Tout d'abord, nous avons considéré les élèves participant aux cours de sciences faibles dans l'enseignement secondaire général ordinaire comme étant des novices quant à la fission nucléaire et au domaine plus large de la physique. Dans le même ordre d'idée, nous avons considéré les élèves participant aux cours de sciences fortes (de 6 à 10 heures par semaine) comme étant des experts du domaine scientifique de la physique. Or, il est légitime de se demander si ces deux catégories d'élèves correspondent réellement à des novices et à des experts et non à une catégorie intermédiaire de la population. En effet, il est d'usage de considérer qu'un sujet novice ait peu voire pas de connaissance antérieure quant au domaine évalué ; pourtant, des élèves ayant trois heures de sciences par semaine depuis le début de leur scolarité secondaire ont sans doute un bagage scientifique plus important que de véritables novices. Quant à lui, un expert, par définition, « *a acquis une grande habileté, un grand savoir-faire dans une profession, une discipline, grâce à une longue expérience* » (C.N.R.T.L., 2012) ; ce qui n'est clairement pas le cas des étudiants de fin du secondaire en sciences fortes vis-à-vis des disciplines relatives à la physique. Dès lors, constater une égalité entre ces deux catégories de sujets n'est peut-être pas si contre-intuitif ; cette égalité est peut-être juste le signe tangible que le « nombre d'heures de sciences par semaine » n'est pas un bon indicateur du degré d'expertise des sujets. Ensuite, la distribution même de notre échantillon relativement à la variable « degré d'expertise » n'est pas idéale afin de réaliser une étude statistique de qualité quant à cette variable. Effectivement, seulement 10,5 % de notre échantillon participe à des cours de sciences fortes, contre 89,5 % à des cours de sciences faibles. Réaliser une étude statistique en comparant des groupes identiques quant au nombre de novices et au nombre d'experts peut mener à des résultats significativement différents. Enfin, Donnelly & McDaniel (2000) ont développé une seconde compréhension de l'impact du degré d'expertise des sujets sur l'efficacité des analogies sur l'apprentissage ; cette compréhension s'avère plus cohérente avec nos résultats. Effectivement, selon ces auteurs, une analogie n'est efficace que si elle nécessite de la part des sujets une réflexion afin de pouvoir lier ses propres connaissances personnelles aux domaines à apprendre. Or, quand nous proposons une analogie sémantiquement proche à un expert, les liens entre ses connaissances antérieures et le domaine cible de l'apprentissage se font de manière relativement aisée. A contrario, quand nous proposons une analogie sémantiquement éloignée à un expert, les liens entre ses connaissances antérieures et le matériel cible nécessitent une réflexion de la part du sujet ; réflexion rendant l'analogie distale profitable à l'expert. Dans une telle perspective, la supériorité de l'analogie distale pour les sujets, qu'ils soient experts ou novices, n'est plus si surprenante. D'ailleurs, l'étude

menée par Vendetti et al. (2014) sur le raisonnement relationnel a également montré une telle supériorité des analogies sémantiquement éloignées.

6.3.2. Impact du sexe

Nos tests statistiques ont permis de souligner : 1) un effet simple de la variable « sexe » sur les résultats des sujets aux différentes questions de notre étude ; 2) aucun effet d'interaction entre la variable « sexe » et la variable « qualité de l'étayage » quant à l'efficacité de l'analogie sur les processus cognitifs évalués dans notre étude. Ces résultats ne sont pas étonnant.

D'une part, bon nombre d'études en sciences de l'éducation condamnent un impact du sexe, en défaveur des femmes, sur les résultats d'étudiants à des interrogations relatives au domaine des sciences. Nos résultats vont dans le sens de ces études. Précisons qu'un Test U de Mann-Whitney ainsi qu'un Test T traditionnel nous ont permis de confirmer que cet impact du sexe est surtout en la défaveur des femmes et ce essentiellement pour les variables mémorisation, compréhension distale et transfert ; nous vous proposons les tableaux statistiques plus complets en annexe n°17. De tels constats vont dans le sens des études PISA (OCDE, 2016, p. 4) ; « *bien que l'écart de performance en sciences entre les sexes tende à être faible, (...) le pourcentage d'élèves très performants en sciences est plus élevé chez les garçons que chez les filles* ». Ces résultats peuvent résulter de deux phénomènes : 1) la menace du stéréotype (Duru-Bellat, 2010) qui, sur base de l'induction d'une pression évaluative, diminue les chances de réussite des personnes appartenant à un groupe (*filles*) dont le stéréotype voudrait que ses membres réussissent moins bien (*filles sont moins douées en sciences*) ; 2) le biais d'influence du sexe du sujet sur l'évaluation qu'un enseignant fait de ses compétences vis-à-vis d'une discipline stéréotypée comme (dé)favorable aux membres appartenant à un sexe donné (Monseur & Lafontaine, 2009). Cette deuxième explication de nos résultats aurait mené notre évaluateur à surestimer les copies moyennes et bonnes des garçons afin qu'ils correspondent au stéréotype de leur groupe d'appartenance censé être plus compétents en sciences, mais à être plus exigeant et à sous-évaluer des copies considérées comme faibles. Parallèlement, notre évaluateur aurait été plus indulgent avec les copies faibles des filles et à sous-évaluer leurs copies moyennes ou bonnes afin que les résultats correspondent bien aux stéréotypes de leur groupe d'appartenance censé être moins compétent en sciences. Ce biais semble avoir été contrôlé, au sein de notre étude, de par la méthodologie de correction à l'aveugle que nous avons mise en place. Néanmoins, le sexe des étudiants étant mentionné sur la première page de notre questionnaire, ce biais a, tout de même, pu impacter notre évaluation de la première question évaluant la mémorisation des étudiants. N'étant pas au cœur même de nos recherches, nous ne dissenterons pas davantage sur ces résultats.

6.3.3. Impact de l'établissement scolaire

L'ANOVA factorielle réalisée afin d'identifier un éventuel effet d'interaction entre la variable « qualité de l'étayage » et la variable « établissement scolaire » vis-à-vis de l'efficacité des analogies sur les processus d'apprentissage a mené, sans surprise, à ne pas réfuter l'hypothèse d'absence d'interaction. Plus surprenant peut-être est l'effet simple observé de la « variable établissement » sur les variables « mémorisation », « compréhension » et « transfert ». En effet, cet effet simple semble indiquer qu'un élève possède plus ou moins de chance de mémoriser, de comprendre et de transférer un concept nouveau appris dans le cadre d'une lecture selon l'établissement dans lequel il se trouve. Ce type de résultat rappelle les phénomènes de ségrégation académique qui indiquent « la présence de différences dans la composition des écoles en fonction des caractéristiques académiques des élèves (taux de retard, réussite inégale à des épreuves de mathématiques, de lecture ou de sciences) » (Baye & Demeuse, 2008, p. 94). Nous ne développerons, à nouveau, pas plus ces résultats dans le cadre de ce mémoire.

6.3.4. Impact de l'année d'étude

Nos tests statistiques ont, finalement, permis de souligner une absence d'effet simple de la variable « année d'étude » sur les variables dépendantes « mémorisation », « compréhension » et « transfert ». Dans la continuité de ces résultats, une absence d'interaction entre les variables indépendantes « année d'étude » et « qualité de l'étayage » quant à l'efficacité de l'analogie sur les processus cognitifs évalués dans notre étude a également été mise en avant. De tels résultats ne sont guère surprenants ; c'est pour cette raison que nous n'approfondirons pas nos réflexions quant à cette variable.

6.4. Des phénomènes d'interférence ?

6.4.1. Quelques données qualitatives

Lors du codage et de l'évaluation des réponses des sujets aux questions ouvertes, des données qualitatives ont pu être récoltées de manière involontaire. Une telle récolte d'informations n'était clairement pas prévue à l'aune de nos investigations ; c'est pour cette raison qu'aucune méthodologie qualitative d'analyse des traces n'a été référencée, décrite et mise en place de façon systématique et rigoureuse dans le cadre de cette étude. Entreprendre une telle méthodologie sur les données qualitatives que nous avons recueillies aurait certes été digne d'intérêt et sans doute porteur de résultats plus conséquents et plus variés permettant une interprétation et une compréhension plus profonde des activités cognitives de nos sujets (Giroux, 1998, cité par Schwarz Coulange, 2008) face aux analogies. Cependant, il nous semblait nécessaire, avant d'entreprendre de telles investigations, de nous positionner quant au degré d'efficacité de différentes analogies sur

l'apprentissage effectif et sur certaines variables qui en sont des déterminants. En effet, à notre sens, c'est seulement une fois ce constat d'efficacité (ou de non-efficacité) réalisé que nous pouvons entreprendre une démarche qualitative plus profonde cherchant à comprendre les phénomènes et les caractéristiques plus complexes conditionnant l'efficacité des analogies sur l'apprentissage.

6.4.2. Intérêt de ces données qualitatives

Quelle que soit la manière dont elles ont été récoltées, de façon incidente ou bien de façon systémique et méthodique, la découverte de certaines informations qualitatives – dont l'occurrence répétée au sein des copies des sujets a été montrée dans notre présentation des résultats – nous permet de pousser, un pas plus loin, la nature de nos réflexions. En effet, même si la limite de ces traces qualitatives reste leur faible quantité, leur présence est significative de l'impact qu'ont eu nos différentes conditions expérimentales sur l'apprentissage spécifique de certains élèves. Or, souligner une telle influence des étayages textuels est digne d'intérêt ; cela nous permet d'identifier certains atouts et certaines limites des analogies – mais aussi des exemples – qu'il est important de garder à l'esprit avant, pendant et après leur utilisation en contexte d'enseignement ou de formation. Autrement dit, de tels résultats nous permettent de modéliser les précautions nécessaires à l'utilisation efficiente des analogies à des fins d'apprentissage.

6.4.3. Des phénomènes d'interférence en cohérence avec l'état de l'art

De nos analyses qualitatives, il ressort principalement la présence d'effets d'interférence de l'analogie sur le concept cible d'apprentissage qui se voit attribuer, « à tort », des caractéristiques et des attributs du concept source proposé aux sujets. Ce type d'interférence se manifeste, en toute logique, différemment selon la source analogique proposée aux sujets afin d'appréhender le matériel cible. Ainsi, la présentation de l'analogie sémantiquement proche de « la fusée nucléaire » afin d'appréhender le concept cible de fission nucléaire mène certains sujets à confondre l'énergie mécanique produite par les turbines des centrales nucléaires à l'énergie cinétique produite par les fusées. A notre sens, une telle interférence peut être due à deux raisons distinctes : 1) la proximité morphologique et phonémique des deux concepts qui ne se différencient l'un de l'autre que de deux couples de graphèmes-phonèmes ; 2) la proximité phénoménologique des deux concepts, l'énergie mécanique étant la résultante de la somme de l'énergie cinétique d'un corps et de son énergie de position (ou énergie potentielle) (Vuilleumier, 2006). De plus, l'analogie sémantiquement proche mène aussi certains sujets à adjoindre, au phénomène de fission nucléaire au sein des centrales, la production d'un gaz. Or, là où les fusées dégagent bel et bien un gaz afin de produire de l'énergie cinétique, ce gaz n'est en aucun cas le résultat ou la conséquence de la fission nucléaire. En outre, cette même analogie mène certains sujets à confondre la place et la fonction de la fission

nucléaire au sein des bombes du même nom à la place et la fonction de cette fission au sein des fusées nucléaires. En effet, pour ces derniers, les éléments qui caractérisent les bombes nucléaires ne sont plus les combustibles à l'origine même de l'explosion, mais bien les combustibles à l'origine de la production d'énergie cinétique qui, de manière analogue aux fusées nucléaires, permettrait aux bombes d'être propulsées et d'atteindre leur destination (ou leur cible). Quant à elle, l'analogie médiane mène certains sujets à confondre le concept d'atome à celui de molécule ; voire même à celui de cellule. Or, ces concepts sont bels et bien distincts et correspondent chacun à des niveaux d'intégration et d'organisation distincts de la matière vivante (Cunchillos, 2014). En effet, à la manière des poupées russes⁷⁵ la plus petite unité du vivant est la cellule qui est composée de molécules qui, elles-mêmes, sont composées d'atomes (Ecole de l'ADN, 2008). Une telle confusion entre ces différentes échelles du vivant n'est pas anecdotique et peut engendrer, chez les apprenants, des difficultés dans leurs futurs apprentissages relatifs au concept de fission. A titre d'exemple, considérer la fission nucléaire comme un phénomène se déroulant au niveau cellulaire ou moléculaire peut considérablement impacter la compréhension des étudiants des mécanismes mis en place au sein des centrales nucléaires afin de contrôler les réactions en chaînes et d'éviter les incidents.

La présence répétée de ces interférences dans le chef des sujets ayant bénéficié de ces deux analogies est consistant avec la littérature scientifique actuelle quant à l'impact des analogies. En effet, comme le souligne C. Plantin (2011, p. 112) ainsi que M.-J. Borel (2000, p. 8), l'analogie et le raisonnement qui en découle peuvent s'ériger en un « *obstacle épistémique* » – ou épistémologique selon Schiavon (2014) & Gillis et al. (n.d.) – lorsque les connaissances activées par la source permettent une compréhension du concept ou du phénomène à un premier niveau (Raynal & Rieunier, 2014), mais, en ignorant les différences, non-négligeables, existantes entre la cible et la source de l'analogie (Bouveresse, 1999), empêche la recherche plus approfondie et l'apprentissage à un niveau plus élevé. Or, force est de constater que ce phénomène, cet obstacle épistémique, se déroule sous nos yeux quand nous repérons, de façon répétée, les interférences que nous venons de souligner. Certes, de telles interférences ne s'avèrent pas nocives pour la compréhension simple, à un premier niveau,

⁷⁵ Précisons qu'encore une fois, nous usons intentionnellement, et presque naturellement, d'une analogie afin d'explicitier un terme scientifique complexe. Or, l'application pure et dure du concept source de « poupées russes » au concept cible de « niveaux d'intégration du vivant » nous mènerait à considérer qu'au sein d'une cellule, il n'y a qu'une seule et unique molécule au sein de laquelle il n'y a qu'un seul atome. Cependant, ce n'est pas le cas. Au sein de chaque cellule cohabitent souvent plusieurs molécules composées, elles-mêmes, de plusieurs atomes. Vous expliciter cette différence est, à notre sens, une méthode afin d'éviter les phénomènes d'interférence qui semblent presque inhérents à l'utilisation d'une analogie. Nous vous présenterons plus amplement cette hypothèse et nous l'étayerons par des résultats scientifiques par la suite. Nous nous devons néanmoins de profiter de cette occasion pour vous illustrer nos futurs propos.

du concept de fission⁷⁶, néanmoins, elles restent inquiétantes pour la suite de l'apprentissage des sujets concernés. Il est alors légitime de se demander si ces derniers seront capables de complexifier leur représentation du concept de fission nucléaire lorsqu'ils lui associent, à un premier niveau, des caractéristiques n'étant pas les siennes. Nos inquiétudes sont encore accrues quand nous associons ces réflexions aux résultats des études de Jaeger et Wiley (2015) et d'Hidi (1990) qui démontrent que l'analogie peut induire chez les apprenants une « *illusion de compréhension* » les menant à surévaluer leur auto-évaluation de compréhension d'un concept par rapport à leur compréhension effective de ce dernier. Effectivement, si ces interférences sont adjointes à une illusion de compréhension, il est difficile de croire que l'apprenant puisse, seul, remettre en question sa compréhension effective de la fission nucléaire, ce qui, parallèlement, risque de renforcer l'obstacle épistémique résultant de l'analogie.

A notre sens d'ailleurs, c'est peut-être parce qu'elles empêchent les phénomènes d'interférence et, par voie de conséquence, l'édifice d'obstacles épistémiques (ou épistémologiques), que certaines méthodes d'enseignement analogique éprouvées par la recherche s'avèrent si efficaces. En effet, l'efficacité de la méthode de Schiavone (2014) et de Gillis et al. (n.d.) demandant aux enseignants d'à la fois souligner explicitement les ressemblances et les différences entretenues par les sources et les cibles d'une analogie, tient peut-être du fait qu'elle diminue les risques d'interférences non-pertinentes et non-adaptées entre ces sources et ces cibles. En outre, proposer plusieurs analogies aux étudiants, méthode mise en avant par Spiro et al. (1989), leur permet peut-être de sélectionner, selon les éléments de la cible d'apprentissage, les éléments pertinents issus des différentes sources et d'éviter, par la même occasion, la mise en correspondance d'éléments moins pertinents et, parallèlement, l'avènement d'interférences négatives. Dans le même ordre d'idée, les guides d'études analogiques (Bean, Singer & Cowen, 1985 ; Bean et al., 1986) peuvent éviter une mise en correspondance abusive et inadéquate entre des éléments issus de la source et des éléments issus de la cible. Enfin, la troisième étape du modèle FAR (Focus, Action, Reflection) insiste sur la nécessité, de la part de l'enseignant, de revenir, après avoir aidé les apprenants à identifier les similarités et les différences entre la source et la cible de l'analogie lors de l'étape d'action, de revenir sur l'implémentation de l'analogie et d'amener un regard critique sur cette dernière (Supasorn & Promarak, 2015) ; regard critique permettant sans doute d'éviter à des interférences négatives de devenir des obstacles à de futurs apprentissages d'ordre supérieur.

Quoi qu'il en soit, de telles interférences semblent plaider en faveur de la conclusion de Gineste et Gilbert (1995) qui insistent sur la nécessité d'accompagner les sujets dans leur appréhension d'une

⁷⁶ Les résultats statistiques présentés auparavant et les comparaisons entre nos différentes conditions contrôles et expérimentales en attestent.

analogie en décrivant, en commentant, et en explicitant clairement et largement cette dernière afin qu'elle favorise réellement leur apprentissage.

Un dernier constat – plus hasardeux sans doute – peut être fait sur base de ces interférences. Il semble que ces dernières augmentent proportionnellement à la diminution de la distance sémantique séparant la source de l'analogie à sa cible. En effet, nos analyses qualitatives, nous ont mené à repérer plus d'interférences dans le chef d'étudiants ayant bénéficié de l'analogie proche que dans le chef d'étudiants ayant bénéficié de l'analogie médiane. Qui plus est, aucun phénomène d'interférence n'a été identifié dans le chef des étudiants ayant bénéficié de l'analogie distale. Un tel constat est hasardeux à ce stade de nos investigations ; d'ailleurs une telle hypothèse mériterait qu'on lui consacre, à elle seule, une étude statistique et qualitative complète et rigoureuse. Cependant, ce constat est tout à fait défendable théoriquement. Effectivement, si une analogie sémantiquement proche propose aux sujets une source issue du même domaine spécifique (Plantin, 2011) que la cible d'apprentissage, il est probable que les apprenants y voient une relation d'égalité et fassent fi de toutes les différences éventuelles. En outre, si une analogie sémantiquement éloignée (distale) est proposée aux sujets, la grande distance entre la source et la cible d'apprentissage pourrait favoriser la mise en exergue, au-delà des similarités qu'elles entretiennent, des différences qui les séparent. Dès lors, les sujets, se rendant compte, presque de manière spontanée, de la présence de telles différences, seraient incités à en rechercher d'autres et, parallèlement, à en identifier d'autres ; ce qui éviterait l'avènement d'interférences et l'édifice de ces dernières en obstacles épistémiques.

6.4.4. Impact du sigle de radioactivité

Observation qualitative plus troublante est celle de l'interférence qu'a provoquée le sigle de radioactivité placé, à titre d'illustration purement esthétique, au sein de chacun de nos matériels d'apprentissage sur les représentations des étudiants du phénomène de fission. En effet, un nombre non-négligeable d'étudiants s'est représenté le phénomène de fission nucléaire et, plus précisément, les combustibles nucléaires par ce sigle. Or, en aucun cas, les atomes nucléaires ne doivent, schématiquement, se représenter de la sorte. D'ailleurs, ils ne doivent guère être représentés différemment d'autres atomes. Il est dès lors légitime de considérer que de telles représentations erronées ne soient pas dues au hasard et qu'elles résultent de la présentation du sigle au sein des différents matériaux. Tout s'est passé comme si, faute de représentations mentales concrètes des atomes nucléaires, les élèves ont utilisé ce qu'ils avaient sous la main – et donc le sigle de radioactivité – afin de réaliser leur schéma. A notre connaissance aucune étude n'a fait état de telles interférences. Cependant, en références aux réflexions de L. Vezin (1986, p. 122), une illustration est, par définition, « *une figuration concrète d'une information transmise par des données verbales : elle visualise*

les concepts ». Pourtant, au sein de nos matériels d'apprentissage, elle n'avait pour seule finalité l'esthétisme et l'agrément de nos supports sans apporter une « *figuration concrète* » des explications verbales fournies quant à la fission nucléaire ; or, selon Vezin (1986), c'est seulement si elle possède ces qualités qu'une illustration peut constituer un vecteur d'apprentissage, de compréhension et de mémorisation. Il est probable qu'une telle interférence soit issue d'un processus analogique. Face à la cible d'apprentissage (la fission nucléaire), les élèves tentent de se doter d'une source leur permettant d'appréhender et de se représenter le concept de fission. A cette fin, ils utilisent la seule donnée schématique à leur disposition : le sigle de radioactivité. Un tel constat est digne d'intérêt d'un point de vue pédagogique ; il souligne la nécessité de réfléchir et commenter les illustrations que les enseignants et les formateurs proposent à leurs apprenants.

6.4.5. Rétention-restitution d'informations contextuelles non-pertinentes

Dernier constat qualitatif que nous avons réalisé, la présence d'informations contextuelles non-pertinentes dans les réponses des étudiants appartenant aux trois groupes expérimentaux « analogie », mais aussi au groupe contrôle « exemple » est le signe que, face à une analogie ou un exemple, les sujets peuvent se concentrer et utiliser des informations non directement en lien avec la cible d'apprentissage afin de répondre à des questions à son sujet. Un tel constat ne s'avère pas forcément négatif pour les sujets. En effet, tant que ces informations contextuelles non-pertinentes ne font pas obstacle et n'empêchent pas la restitution d'éléments plus pertinents, leur présence n'est pas problématique. A l'inverse, si elles font obstacle au rappel d'éléments pertinents, de telles informations peuvent s'avérer néfastes pour l'apprentissage des sujets.

6.5. Des biais méthodologiques ?

En-dehors des biais éventuels de notre étude déjà identifiés dans le cœur de cette discussion (biais de dépendance des items, biais de dépendance du sexe lors de l'évaluation, ...), il nous reste à en souligner et discuter quelques autres qui auraient pu impacter les résultats de notre étude.

L'évaluation quantitative de matériaux qualitatifs est particulièrement sensible aux biais affectant le jugement des copies individuelles des apprenants. Dans ce cadre, des effets de halo (influence de l'apparence extérieure de la production sur son évaluation) ou des effets de persistance (influence des premières informations évaluatives réalisées sur la copie sur la suite de son évaluation) auraient pu impacter l'évaluation que nous avons faite des productions des élèves (Bureau de soutien à l'enseignement, 2015). Nos précautions méthodologiques de correction ont cependant tenté d'éviter au maximum ces deux types de biais. En effet, notre application rigoureuse et constante de la grille de codage a permis à nos évaluations d'être peu sensibles à l'apparence extérieure des copies des élèves ; ce qui a, parallèlement, atténué l'effet de halo. De plus, nous avons corrigé,

chronologiquement, toutes les réponses des élèves à la première question, avant de corriger toutes leurs réponses à la seconde question et ainsi de suite. Une telle précaution nous permet de minimiser l'impact d'un éventuel effet de persistance. Ces précautions ont également pour avantage de minimiser l'effet d'ordre (aussi appelé effet de place) ; autrement dit de l'influence des copies corrigées précédemment sur l'évaluation de la copie actuelle (Bureau de soutien à l'enseignement, 2015 ; Pradère & Tricot, 2012). Effectivement, l'application rigoureuse et cohérente de la grille de codage ainsi que notre retour sur les évaluations des premières copies après avoir terminé ce codage sont autant de techniques destinées à prévoir et éviter tout effet d'ordre et les biais qui en découlent dans le cadre de notre étude. Qui plus est, le fait que le codage quantitatif ait été réalisé par un seul et unique évaluateur minimise l'impact différencié des styles de correcteurs (Bureau de soutien à l'enseignement, 2015). Autrement dit, avec un seul évaluateur nous évitons les biais relatifs aux différences de rigueur et d'exigence qui peut séparer et distinguer l'évaluation des copies par plusieurs correcteurs.

Néanmoins, notre étude semble plus sensible à l'état physiologique et psychologique de l'évaluateur (Bureau de soutien à l'enseignement, 2015). Ce type de biais rappelle que, selon le moment de la journée, l'état de fatigue de l'évaluateur ou son état affectif l'évaluation qu'il fait d'une copie peut être différente. Or, il appert de notre méthodologie qu'aucune précaution n'a été prise afin d'éviter de tels biais. Les copies ont été corrigées à différents moments d'une journée et ce de très tôt le matin jusqu'à très tard le soir. Les 221 copies ont été corrigées en quelques jours, ce qui a indéniablement été une cause de fatigue progressive pour l'évaluateur et a, parallèlement, impacté négativement son état psychologique.

Enfin, force est de constater que notre étude ne s'est concentrée que sur des étudiants de la fin de l'enseignement secondaire ordinaire général. Or, cet échantillon n'est représentatif que d'une part de la population totale des apprenants. L'avantage d'un tel choix méthodologique est qu'il permet de contrôler bon nombre de variables indépendantes qui pourraient avoir un impact sur les résultats des sujets ; variables telles que le parcours scolaire des étudiants, les cours suivis par ces mêmes étudiants, leur âge, ... Cependant, un tel choix méthodologique nous empêche d'élargir nos conclusions à des pans de la population autres que ceux sur lesquels nous avons axé notre étude. Dès lors, nous ne sommes pas en mesure d'affirmer que nos résultats sont également d'application avec des étudiants de l'enseignement secondaire inférieur, de l'enseignement secondaire technique ou professionnel, de promotion sociale, ... ou de bien d'autres contextes d'apprentissage. A cette fin, des études complémentaires élargissant les pans de la population et les caractéristiques des effectifs testés sont nécessaires afin de pouvoir généraliser – ou non – nos découvertes et nos conclusions à l'ensemble des apprenants.

7. Conclusion

Depuis maintenant un demi-siècle, les études tentant de quantifier et de qualifier l'effet des analogies sur la pensée humaine se sont succédées. S'appuyant sur bon nombre de ces études, D. Hofstadter et E. Sander (2013) diront de l'analogie qu'elle constitue un processus central et primordial de la cognition humaine ; ce qui en fait un processus impérieux à étudier dans le cadre des sciences de l'éducation. Pourtant, s'attaquant, à tour de rôle, à l'impact des analogies sur des variables dépendantes aussi distinctes que variées – de l'apprentissage, à la résolution de problèmes, en passant par la catégorisation, l'innovation, la créativité, ... –, ces études ont mené à des résultats bien souvent inconsistants entre eux.

A l'heure où l'Evidence Based Policy – définie par Saussez et Lessard (2009, p. 111) comme « *une approche des pratiques et des politiques éducatives qui préconise que celles-ci doivent être fondées sur les données les plus probantes produites par la recherche* » – fait ses premiers pas dans les domaines psycho-éducatifs, la recherche en sciences de l'éducation se doit de produire des données et des matériaux compréhensibles et directement utilisables par les praticiens du monde de l'enseignement et de la formation (Gitlin, 1990 ; Rey, 2014). Or, si elle ne permet pas de statuer en faveur ou en défaveur de l'analogie ou si elle ne produit pas des connaissances conditionnelles quant à son utilisation dans des contextes pédagogiques, la recherche ne constitue plus un soutien aux praticiens dans la création, l'usage et l'évaluation d'analogies qu'ils décident d'implémenter dans leur(s) séquence(s) d'enseignement ou de formation à destination des publics spécifiques avec lesquels ils travaillent.

En outre, dans notre système éducatif laissant se reproduire et se proliférer les inégalités sociales (APED, 2014 ; Crahay, 2007) par le biais des inégalités scolaires qu'il encourage (Crahay, 2007 ; Hirtt, 2009), l'enseignement explicite semble constituer une voie d'or vers l'atteinte de l'égalité des acquis (Bonnery, 2007 ; Joigneaux, 2009), fer de lance de bon nombre de chercheurs en sciences de l'éducation et de psychopédagogues (Barth, 2013, a & b ; Duru-Bellat, 2009). Or, si elle s'avère un processus et un outil efficace pour l'apprentissage, l'analogie peut constituer l'une des techniques et l'une des méthodes d'apprentissage dont l'enseignement explicite aux apprenants pourrait s'avérer porteur et source de développements, et, parallèlement, pourrait permettre à notre système éducatif d'approcher l'égalité des acquis tant recherchée.

Notre revue de la littérature nous a permis de statuer en une efficacité conditionnelle des analogies sur les processus d'apprentissage et, plus précisément, sur les processus de mémorisation, de compréhension et de transfert. En effet, le grand nombre d'études soulignant ses effets positifs ne pouvaient toutes se tromper ; cependant, et dans la même perspective, le grand nombre d'études soulignant son effet nul, voire même néfaste, ne pouvaient également toutes se tromper. Par

conséquent, et à l'instar de Donnelly et McDaniel (2000), nous avons statué en la faveur d'une efficacité conditionnelle de l'analogie sur les processus d'apprentissage. Il s'avère qu'un certain nombre d'études avaient déjà identifié quelques de ces conditions : pour Mc Daniel et Donnelly (1996) l'analogie devait être accompagnée d'un schéma ou d'une mise en avant des faits essentiels ; pour Paulson (2014), les analogies emblématiques sont plus profitables que les analogies ponctuelles ; pour Schiavone (2014) et Gillis et al. (n.d.), les analogies doivent, en plus de souligner les ressemblances entre la source et la cible, mettre en exergue les différences qu'entretiennent leurs deux parties ; pour Vosniadou et Ortony (1983), la source proposée par l'analogie aux sujets afin de les aider à appréhender la cible se doit d'être connue et maîtrisée des sujets eux-mêmes ; pour Spiro, Feltovich, Coulson et Anderson (1989), proposer plusieurs analogies est plus favorable à l'apprentissage d'un concept que n'en proposer qu'une seule et unique ; pour Bean, Singer et Cowen (1985) ainsi que pour Bean et al. (1986), présenter une analogie au sein d'un guide d'étude créé afin de mettre systématiquement en correspondance les éléments sources et les éléments cibles est déterminant pour l'efficacité pédagogique de cette analogie ; pour Donnelly et McDaniel (2000), une analogie se doit d'amener les sujets à réfléchir afin de créer des liens entre leurs déjà-là et le matériel qu'ils ont à apprendre. Néanmoins, aucune de ces études ne s'est encore attardée à étudier de plus près l'impact de différents types d'analogies sur l'apprentissage ; c'est ce que nous avons entrepris dans le cadre de ce mémoire.

Nous avons testé l'hypothèse que plus la distance sémantique qu'entretient une analogie entre la source qu'elle propose aux sujets et la cible d'apprentissage qu'ils doivent appréhender est grande plus elle constituera un outil favorable à la mémorisation, à la compréhension et au transfert du matériel cible. Autrement dit, nous avons testé l'hypothèse d'une supériorité en termes d'efficacité de l'analogie distale (ou sémantiquement éloignée) sur des matériaux traditionnels de cours (exemples, et reformulation), mais aussi sur des analogies sémantiquement moins éloignées (analogie proche ou analogie médiane). Notre étude nous a mené à confirmer cette première hypothèse et ce pour les variables dépendantes « mémorisation », « compréhension proche » et « transfert ». Dès que la compréhension est évaluée sur des phénomènes ou des éléments s'éloignant du cœur même de l'analogie, l'analogie distale perd de sa supériorité sur les autres conditions de notre étude.

Nous avons ensuite testé l'hypothèse d'une interaction entre l'efficacité des analogies et le degré d'expertise des sujets quant au domaine cible de celles-ci. Nous pensions que plus une analogie serait sémantiquement proche, plus elle serait adaptée à un public d'experts. A contrario, plus une analogie serait sémantiquement éloignée, plus elle serait efficace pour un public de novices. Malheureusement, notre étude ne nous a pas permis de confirmer cette hypothèse. Où nous en

sommes dans nos recherches, nous ne pouvons pas encore déterminer si ces résultats constituent bel et bien la preuve d'une absence d'interaction entre l'efficacité des analogies et le degré d'expertise des sujets ou si l'absence d'interaction identifiée au sein de notre étude est simplement la résultante d'une inadéquation entre notre indicateur (nombre d'heures de sciences par semaine) et la variable indépendante « degré d'expertise » qu'il est censé mesurer.

D'un point de vue plus qualitatif, de nombreux phénomènes d'interférence, résultant de l'utilisation d'analogies, ont été repérés dans le cadre de la correction des questionnaires. Comme nous l'avons décrit et démontré, de telles interférences peuvent empêcher – au-delà de l'apprentissage à un premier niveau que l'analogie favorise – le déploiement d'un apprentissage plus profond et d'un niveau supérieur. Ces interférences sont le signe tangible que, malgré une efficacité globale de l'analogie sur l'apprentissage, il reste nécessaire de la part d'un enseignant ou d'un formateur de commenter et d'explicitier les analogies qu'il utilise dans le cadre de ses séquences d'enseignement ou de formation (Gineste & Gilbert, 1995).

Les résultats de notre étude sont riches en perspectives. D'une part, de tels résultats méritent d'être confirmés par des études complémentaires : ciblant des populations identiques (enseignement secondaire général), mais aussi différentes de la nôtre (enseignement primaire, enseignement secondaire technique, ...); utilisant des matériels d'apprentissage sur des thématiques variées (sciences, économie, tuyauterie, électricité, ...) sur des supports tout aussi variés (textes, vidéos, schémas, tableaux, ...); évaluant des variables « indépendantes » identiques, mais aussi différentes de celles de notre étude (perception de compréhension, motivation, résolution de problèmes, ...); usant de questionnaires identiques (questions ouvertes à coder quantitativement) ou différents des nôtres (échelles de Likert, questions à choix multiples, ...). D'autre part, ces résultats nous mènent à entrevoir de nouveaux projets de recherche qui pourraient y prendre leur source. Tout d'abord, il serait pertinent d'investiguer à nouveau notre hypothèse d'interaction entre la variable « degré d'expertise » et la variable « qualité de l'étayage », mais ce avec des indicateurs plus performants afin de mesurer cette première variable indépendante. Ensuite, des études avec une méthodologie qualitative plus rigoureuse et plus riche que la nôtre pourrait étudier plus profondément et de manière systématique les phénomènes d'interférence liés à l'analogie (provenance, impact, lutte efficace contre ces phénomènes, ...). Qui plus est, des études quantitatives et qualitatives pourraient s'attarder à une réflexion plus approfondie quant à l'impact affectif (perception de soi, estime de soi, motivation, auto-évaluation, ...) de l'usage d'analogies – que l'on distingue par la distance sémantique qu'elles entretiennent entre la cible et la source d'apprentissage – sur des sujets appartenant à des populations possédant des caractéristiques aussi distinctes que variées. Enfin, il nous semble voie prometteuse de tester l'efficacité d'une méthodologie qui permettrait aux

apprenants – suivant une séquence d’enseignement ou de formation – de créer, et ce explicitement, ses propres analogies afin d’appréhender le matériel neuf qui lui est proposé. Allant encore plus loin dans cette perspective et en considérant les postulats socioconstructivistes, il pourrait également être intéressant d’observer et d’évaluer une méthodologie qui permettrait à un groupe de sujet de co-construire – sur base des connaissances acquises individuellement par les membres du groupe, mais aussi de leur rencontre et de leur confrontation – progressivement leurs propres analogies afin d’appréhender les nouveaux matériaux d’apprentissage. L’évaluation de telles démarches devra aussi bien se faire d’un point de vue quantitatif que d’un point de vue qualitatif et ce en considérant un panel large de variables ; des variables relatives à l’apprentissage (compréhension, transfert, mémorisation, résolution de problèmes,...) aux variables motivationnelles en passant par des variables affectives et psychologiques.

8. Bibliographie

- Albert, A. (2005). *Biostatistique*. Liège, Belgique : Les Editions de l'Université de Liège.
- Appel Pour une Ecole Démocratique (APED). (2014). *PISA 2012 sans fard et sans voile, pourquoi les systèmes éducatifs de Belgique et de France sont-ils les champions de l'inégalité sociale ?* Retrieved from : http://www.skolo.org/IMG/pdf/dossier_pisa_fr.pdf
- Aristote. (1991). *Aristote, Rhétorique* (C.-E. Ruelle, Trad.). Paris, France : Librairie Générale Française (Hachette, coll. Le livre de poche).
- Baldinger, K. (1959). L'étymologie, hier et aujourd'hui. *Cahier de l'Association Internationale des Etudes Françaises*, 11, 233-264. doi : 10.3406/caief_0571-5865_1959_num_11_1_2150
- Barth, B.-M., (2013) (a). *Elève chercheur, enseignant médiateur : donner du sens aux savoirs*. Paris, France : Retz.
- Barth, B.-M. (2013) (b). *L'apprentissage de l'abstraction* (2nd éd.). Paris, France : Retz.
- Bassirou Diallo, M. (2010). *Rapport de stage de master de statistique : métrologie et contrôle de qualité*. Strasbourg, France : Université de Strasbourg.
- Bastid, F., & Nogry, S. (In Press). Elaboration des analogies en cours de mathématiques à l'école élémentaire. *Elsevier Masson SAS*. doi : 10.1016/j.psfr.2016.03.001
- Baye, A., & Demeuse, M. (2008). Indicateurs d'équité éducative. Une analyse de la ségrégation académique et sociale dans les pays européens. *Revue française de pédagogie*, 91-103. doi : 10.4000/rfp.1140
- Bean, T. W., Searles, D., Singer, H., & Cowen, S. (1990). Learning concepts from biology text through pictorial analogies and an analogical study guide. *The Journal of Educational Research*, 83 (4), 233-237.
- Bean, T. W., Singer, H., & Cowen, S. (1985). Acquisition of a topic schema in high school biology through an analogical study guide. In J. A. Niles & R. V. Lalik (Eds.), *Issue in Literacy: A research perspective. Thirty-fourth yearbook of the National Reading Conference*. Rochester, N.Y. : National Reading Conference.
- Bean, T. W., Singer, H., Cowan, S., & Richaudeau, E. (1896). Le manuel analogique : un pas en avant dans la pédagogie des sciences. *Communication et Langages*, 68, 43-49. doi : 10.3406/colan.1986.1758
- Beauzée, N. (1765). *Pléonasmе*. Retrieved from : http://obvil.paris-sorbonne.fr/corpus/critique/beauzee_encyclopedie/PLEONASME
- Berrendonner, A. (1997). Pléonasmes syntaxiques : dédoublement ou hybridation ? *Langue Française*, 115, 75-87. doi : 10.3406/lfr.1997.6223
- Blanchette, I., & Dunbar, K. (2000). How analogies are generated : the roles of structural and superficial similarity. *Memory and Cognition*, 28, 108-124. doi : 10.3758/BF03211580

- Bonnardel, N. (2014). Analogies et gestions de contraintes : le modèle A-GC. In J.-F. Dortier, *Le cerveau et la pensée : Le nouvel âge des sciences cognitives* (pp. 366-367). Auxerre, France : Editions Sciences Humaines.
- Bonnery, S. (2007). *Comprendre l'échec scolaire. Elèves en difficulté et dispositifs pédagogiques*. Paris, France : La Dispute.
- Borel, M.-J. (2000). Métaphores et analogies dans le discours des sciences de l'homme et de la société. *Revue Européenne des Sciences Sociales*, 38 (117), 5-11. doi : 10.4000/ress.704
- Borella, J. (2012). *Penser l'analogie*. Paris, France : L'Harmattan (Coll. Théôria).
- Boujut, E., & Burchon-Schweitzer, M. (2007). Rôle de certains facteurs psychosociaux dans la réussite universitaire d'étudiants de première année. *L'orientation Scolaire et Professionnelle*, 36, 155-177. doi : 10.4000/osp.1367
- Boulad-Ayoub, J. (1990). *Fiches pour l'étude de Kant*. Sillery, Québec : Presses de l'Université du Québec.
- Boulbry, G. (2006). Enquêtes verbales et biais méthodologiques. Le cas des seniors et de leurs non-réponses. *La Revue des Sciences de Gestion*, 6, 67-78. doi : 10.3917/rsg.222.0069
- Bourgeois, E. (2006). La motivation à apprendre. In E. Bourgeois & G. Chappelle (Ed), *Apprendre et faire apprendre* (pp. 229-246). Paris, France : Presses Universitaires de France.
- Bourgeois, E. (2011). Les théories de l'apprentissage : un peu d'histoire ... In E. Bourgeois & G. Chappelle (Eds.), *Apprendre et faire apprendre* (pp. 23-39). Paris, France : Presses Universitaires de France.
- Bourgeois, E., & Nizet, J. (2005). *Apprentissage et formation des adultes* (3rd éd.). Paris, France : Presses Universitaires de France.
- Bourgeois, E., & Nizet, J. (2014). *Apprentissage et formation des adultes* (4th ed.). Paris, France : PUF.
- Bouveresse, J. (1999). *Prodiges et vertiges de l'analogie : de l'abus des belles-lettres dans la pensée*. Paris, France : Editions Raisons d'Agir.
- Bureau de soutien à l'enseignement. (2015). *Les biais de la correction : les reconnaître et les éviter*. Québec, Canada : Université de Laval. Retrieved from : https://www.enseigner.ulaval.ca/system/files/les_biais_correction_2015.pdf
- Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales. (2012). *Expert*. Retrieved from : <http://www.cnrtl.fr/definition/expert>
- Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales. (2012). *Jungle*. Retrieved from : <http://www.cnrtl.fr/definition/jungle>
- Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales. (2012). *Logos*. Retrieved from : <http://www.cnrtl.fr/definition/logos>
- Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales. (2012). *Mémorisation*. Retrieved from : <http://www.cnrtl.fr/lexicographie/m%C3%A9morisation>
- Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales. (2012). *Métaphores*. Retrieved from : <http://www.cnrtl.fr/definition/m%C3%A9taphores>

- Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales. (2012). *Paronomase*. Retrieved from : <http://www.cnrtl.fr/definition/paronomase>
- Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales. (2012). *Schème*. Retrieved from : <http://www.cnrtl.fr/definition/sch%C3%A8me>
- Chan, J., Paletz, S., & Schunn, C. D. (2012). Analogy as a strategy for supporting complex problem solving under uncertainty. *Memory & Cognition*, *40*, 1352-1365. doi : 10.3758/s13421-012-0227-z
- Chédru, M. (2012). *Impact de la motivation et des caractéristiques individuelles sur la performance : application dans le monde académique* (Unpublished doctoral dissertation). Institut National des Télécommunications, Evry-Val d'Essonne, France.
- Clement, C. A., & Gentner, D. (1991). Systematicity as a selection constraint in analogical mapping. *Cognitive Science*, *15*, 89-132. Retrieved from : <http://groups.psych.northwestern.edu/gentner/papers/ClementGentner91.pdf>
- Crahay, M. (2007). *Peut-on lutter contre l'échec scolaire ?* (3rd ed.). Bruxelles, Belgique : De Boeck.
- Crahay, M., & Dutrévis, M. (2010). *Psychologie des apprentissages scolaires*. Bruxelles, Belgique : De Boeck.
- Crahay, M. (2013). *Psychologie de l'éducation* (3rd éd.). Paris, France : PUF.
- Cunchillos, C. (2014). *Les Voies de l'émergence : Introduction à la théorie des unités de niveau d'intégration*. Paris, France : Editions Belin.
- Dahan-Gaida, L. (2011). Pensée analogique et dynamiques de la forme chez Paul Valéry : modèles, forces, diagrammes. *Tangence*, *95*, 43-65. doi : 10.7202/1004046ar
- De Calan, D., Catach, L., Durand, M., Laporte, L., Leblanc, C., Lucet, C., Morvan, D., Piquart, N., & Rey, A. (2012). *Le Robert illustré*. Paris, France : SEJER.
- Donnelly, C. M., & McDaniel, M. A. (1993). Use of analogy in learning scientific concepts. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, & Cognition*, *19*, 975-987. doi : 10.1037/0278-7393.19.4.975
- Donnelly, C. M., & McDaniel, M. A. (2000). Analogy with knowledgeable learners : when analogy confers benefits and exacts costs. *Psychonomic Bulletin & Review*, *7*, 537-543. doi : 10.3758/BF03214368
- Dortier, J.-F. (2009). *Les humains : Mode d'emploi*. Auxerre, France : Editions Sciences Humaines.
- Dortier, J.-F. (2013 a). Balade parmi les théories de l'esprit. *Sciences Humaines*, *248*, 34-37.
- Dortier, J.-F. (2013 b). Penser, c'est prédire. *Sciences Humaines*, *248*, 38-40.
- Dortier, J.-F. (2014). *Le cerveau et la pensée : Le nouvel âge des sciences cognitives*. Auxerre, France : Editions Sciences Humaines.
- Dortier, J.-F. (2014 a). Les modèles des sciences cognitives. In J.-F. Dortier, *Le cerveau et la pensée : Le nouvel âge des sciences cognitives* (pp. 31-46). Auxerre, France : Editions Sciences Humaines.
- Droit, R.-P. (2008, November). *Michel Meyer : « il nous faut questionner le questionnement »*. Retrieved from : http://www.lemonde.fr/livres/article/2008/11/13/michel-meyer-il-nous-faut-questionner-le-questionnement_1118010_3260.html

- Dunbar, K. (2001). The analogical paradox: why analogy is so easy in naturalistic settings, yet so difficult in the psychological laboratory. In: D. Gentner, K. J. Holyoak, & B. N. Kokinov (Eds.), *The analogical mind: perspectives from cognitive science* (pp. 313-334). Cambridge, Angleterre : The MIT Press.
- Dunbar, K., & Blanchette, I. (2001). The in vivo/in vitro approach to cognition : the case of analogy. *Trends in Cognitive Sciences*, 5, 334-339. doi : 10.1016/S1364-6613(00)01698-3
- Duru-Bellat, M. (2009). *Les inégalités sociales à l'école : genèse et mythes* (3rd éd.). Paris, France : PUF.
- Duru-Bellat, M. (2010). Ce que la mixité fait aux élèves. *Revue de l'OFCE*, 114, 197-212. doi : 10.3917/reof.114.0197
- Eagleman, D. (2013). Le cerveau, une équipe de rivaux. *Sciences Humaines*, 248, 42-45.
- Fayol, M. (2011). Un esprit pour apprendre. In E. Bourgeois & G. Chapelle (Eds.), *Apprendre et faire apprendre* (pp. 59-73). Paris, France : Presses Universitaires de France.
- Ecole de l'ADN. (2008). Le vivant : l'organisation du vivant. Nîmes, France : Généthon. Retrieved from : http://education.telethon.fr/IMG/pdf/fiche_org.pdf
- Filliettaz, L., de Saint-Georges, I., & Duc, B. (2006). Ski, cheese fondue and Swiss watches : the rhetoric of analogical discourse in vocational training interactions. *Vocations and Learning*, 3(2), 117-140. doi : 10.1007/s12186-010-9035-4
- Fodor, J. A. (1976). *The language of thought*. Brighton, Angleterre : The Harvest Press ; Humanities Press.
- Fossion, G., Burlet, G., & Faulx, D. (2015). Une étude micropédagogique des gestes professionnels et de leurs impacts sur l'activité d'apprentissage dans le contexte de l'enseignement universitaire. *Acte du 28^{ème} Colloque de l'Association Internationale de Pédagogie Universitaire*, Mons, Belgique.
- Fossion, G., & Faulx, D. (2016). Comment la participation à une recherche contribue au développement professionnel : le cas des exemples à l'Université. *Actes du colloque du Réseau international francophone de recherche qualitative (RIFReQ)*, *Recherches Qualitatives*, 20, 221-236.
- Freiberg, J.W. (1975). Détermination et liberté dans la pensée humaine : une perspective dialectique. *L'Homme et la Société*, 37-38, 99-115. doi : 10.3406/homso.1975.1601
- Frenay M., & Bédart, D. (2011). Le transfert des apprentissages. In E. Bourgeois & G. Chapelle (Eds.), *Apprendre et faire apprendre* (pp. 125-137). Paris, France : Presses Universitaires de France.
- Gentner, D. (1983). Structure Mapping, a theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, 7, 155-170.
- Gentner, D. (1989). The mechanisms of analogical learning. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning* (pp. 199-241). New York, NY : Cambridge University Press.
- Gentner, D., & Holyoak, K. J. (1997). Reasoning and learning by analogy. *American Psychologist*, 52 (1), 32-34. Retrieved from : <http://reasoninglab.psych.ucla.edu/KH%20pdfs/Gentner%20and%20Holyoak%201997.pdf>
- Gentner, D., & Jee, B. D. (2010). De l'alchimie aux sciences modernes, du bon usage de la pensée analogique. *Sciences Humaines*, 215, 40-43.

- Giasson, J. (2004). *La lecture : de la théorie à la pratique*. Bruxelles, Belgique : De Boeck.
- Giasson, J. (2012). *La lecture : apprentissage et difficultés*. Bruxelles, Belgique : De Boeck.
- Gick, M. L., & Holyoak, K. J. (1983). Schema induction and analogical transfer. *Cognitive Psychology*, 15, 1-38. Retrieved from : http://reasoninglab.psych.ucla.edu/KH%20pdfs/Gick_Holyoak%281983%29_SchemaInduction.pdf
- Gillis, P., Lo Bue, F., Mélin, S., Demeuse, M., Dehon, A., Demierbe, C., & Derobertmeasure, A. (n.d.). *Conceptions des élèves et analogies en sciences, illustrations sur les thèmes de l'énergie et de l'électricité*. Mons, Belgique : Université de Mons. Retrieved from : http://portail.umons.ac.be/FR/universite/facultes/fpse/serviceeetr/methodo/recherches/recherches_en_cours/Documents/Energitheque_Conceptions%20des%20eleves%20et%20analogie%20en%20sciences.pdf
- Gineste, M.-D. (1997). *Analogie et cognition : étude expérimentale et simulation informatique*. Paris, France : Presses Universitaires de France.
- Gineste, M.-D., & Gilbert, L. (1995). Les analogies dans l'acquisition de concepts en biologie chez des élèves de 10-11 ans. *Didaskalia*, 7, 27-41.
- Gitlin, A. D. (1990). Educative research, voice, and school change. *Harvard Educational Review*, 60, 443-466. doi : 10.17763/haer.60.4.1436834032t2wk5
- Glynn, S. M., & Takahashi, T. (1998). Learning from analogy-enhanced science text. *Journal of Research in Science Teaching*, 35, 1129-1149. Retrieved from : <http://www.elainegalvin.ie/wp-content/uploads/2014/09/Learning-from-Analogy-Enhanced-Science-Text.pdf>
- Grissom, J. B., & Shepard, L. A. (1989, March). Structural equation modelling of retention and overage effects on dropping out of school. *Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association*. San Francisco, C.A. Retrieved from : <http://files.eric.ed.gov/fulltext/ED307684.pdf>
- Grubbs, F. E. (1969). Procedures for detecting outlying observations in samples. *Technometrics*, 11, 1-21. Retrieved from : http://web.ipac.caltech.edu/staff/fmasci/home/astro_refs/OutlierProc_1969.pdf
- Grubbs, F. E. (1974). *Procedures for detecting outlying observations in samples*. Springfield, IL : National Technical Information Service. Retrieved from : <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/781499.pdf>
- Haccoun, R., & Cousineau, D. (2007). *Statistique : concepts et applications*. Montréal, Québec : Presses de l'Université de Montréal.
- Halpern, D. F., Hansen, C., & Riefer, D. (1990). Analogies as an aid to understanding and memory. *Journal of Educational Psychology*, 82, 298-305. doi : 10.1037/0022-0663.82.2.298
- Hammadou, J. (2000). The impact of analogy and content knowledge on reading comprehension : what helps, what hurts. *The Modern Language Journal*, 84, 38-50. doi : 10.1111/0026-7902.0051

- Hayes, D. A., & Tierney, R. J. (1982). Developing readers' knowledge through analogy. *Reading Research Quarterly*, 17, 256-280. doi : 10.2307/747486
- Hirtt, N. (2009). Pourquoi sommes-nous les champions de l'inégalité scolaire ? *Le Journal de l'Alpha*, 167-168, 49-61. Retrieved from : http://www.lire-et-ecrire.be/IMG/pdf/ja_167-168pdbc2d.pdf
- Hidi, S. (1990). Interest and its contribution as a mental resource for learning. *Review of Educational Research*, 60, 549-571. doi : 10.3102/00346543060004549
- Hoffmans, J. (1925). L'expérience chez Roger Bacon, à propos de trois ouvrages récents. *Revue Néo-Scolastique de Philosophie*, 6 (série 2), 170-190. doi : 10.3406/phlou.1925.2690
- Hofstadter, D., & Sander, E. (2013). *L'analogie, cœur de la pensée*. Paris, France : Odile Jacob (Coll. Sciences).
- Hofstadter, D., & Sander, E. (2014). L'analogie, au cœur de la cognition. In J.-F. Dortier, *Le cerveau et la pensée : Le nouvel âge des sciences cognitives* (pp. 355-360). Auxerre, France : Editions Sciences Humaines.
- Holyoak, K., & Koh, K. (1987). Surface and structural similarity in analogical transfert. *Memory & Cognition*. Retrieved from : <http://link.springer.com/article/10.3758%2FBF03197035#page-1>
- Holyoak, K. J., & Thagard, P. (1999). *Mental Leaps : Analogy in Creative Thought*. Londres, Angleterre : Bradford Book.
- Hummel, J. E., & Holyoak, K. J. (2003). Relational reasoning in a neurally-plausible cognitive architecture: An overview of the LISA project. *Cognitive Studies: Bulletin of the Japanese Cognitive Science Society*, 10, 58-75.
- Jacques, J. (1935). Abstraction et analogie. *Revue Néo-Scolastique de Philosophie*, 48, 530-535. doi : 10.3406/phlou.1935.2945
- Jaeger, A. J., Wiley, J. (2015). Reading an analogy can cause the illusion of comprehension. *Discourse Processes*, 52, 376-405. doi : 10.1080/0163853X.2015.1026679
- Jenny, L. (2003). *Méthodes et problèmes : Les figures de rhétoriques*. Retrieved from : <https://www.unige.ch/lettres/framo/enseignements/methodes/frhetorique/frintegr.html>
- Jimerson, S. R. (2001). Meta-anamysis of grade retention research : implications for practice in the 21st century. *School Psychology Review*, 30, 420-437. Retrieved from : <http://edresearch.yolasite.com/resources/Jimerson01.pdf>
- Joigneaux, C. (2009). La construction de l'inégalité scolaire dès l'école maternelle. *Revue Française de Pédagogie*, 169, 17-28. doi : 10.4000/rfp.1301
- Journet, N. (2010). Extension du domaine de l'analogie. *Sciences Humaines*, 215, 37-39.
- Judd, M., McClelland, G. H., Ryan, C. S., Muller, D., & Yzerbyt, V. (2010). *Analyse des données : une approche par comparaison de modèles*. Bruxelles, Belgique : De Boeck.
- Justi, R. (2003). Teaching and learning chemical kinetics. In J. K. Gilbert, O. De Jong, D. F. Treagust and J. H. Van Driel (Eds.), *Chemical Education : Towards Research-based Practice* (pp. 293-315). Dordrecht, Pays-Bas : Springer.

- Kleiber, G. (2015). Métaphore, analogie et polysémie : le critère occurrence. *L'Information Grammaticale*, 145, 11-20. doi : 10.2143/IG.145.0.3075934
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1980). *Les métaphores dans la vie quotidienne*. Lonrai, France : Les éditions de minuit.
- Lee-Jahnke, H. (2005). New cognitive approaches in process-oriented translating training. *Meta : Translators' Journal*, 50, 2, 359-377. doi : 10.7202/010942ar
- Lefèvre, N., & Taverne, C. (2015). [LPSP1306] – *Statistique : analyse descriptive et modélisation GLM de données multivariées*. Podcast relatif à « SPSS, c'est facile ... Kruskal-Wallis et comparaisons multiples avec un test non-paramétrique ». Louvain-la-Neuve, Belgique : Université Catholique de Louvain.
- Le Trésor de la Langue Française informatisé. (n.d.). *Analogie*. Retrieved from : <http://atilf.atilf.fr/dendien/scripts/tlfiv5/advanced.exe?8;s=1838292450>
- Le Trésor de la Langue Française informatisé. (n.d.). *Paronyme*. Retrieved from : <http://atilf.atilf.fr/dendien/scripts/tlfiv5/advanced.exe?8;s=233992845>
- Levy, J. (2012). *100 analogies étonnantes pour comprendre les grandes théories scientifiques*. Paris, France : éditions Trédaniel.
- Loriaux, R. (1952). L'Être et l'Idée selon Platon. *Revue Philosophique de Louvain*, 50 (série 3) (25), 5-55. doi : 10.3406/phlou.1952.4379
- Magdas, I. (2015). Analogical reasoning in geometry education. *Acta Didactica Napocensia*, 8, 57-66. Retrieved from : http://padi.psiedu.ubbcluj.ro/adn/article_8_1_7.pdf
- Martin, O. (2014). *L'analyse quantitative des données* (3rd ed.). Paris, France : Armand Colin (Coll. L'enquête et ses méthodes).
- McDaniel, A. M., & Donnelly, C. M. (1996). Learning with analogy and elaborative interrogation. *Journal of Educational Psychology*, 88, 508-519. doi : 0022-0663/96/\$3.00
- McDaniel, A. M., & Einstein, G. O. (1989). Material-appropriate processing : a contextualist approach to reading and studying strategies. *Educational Psychology Review*, 1, 113-145. doi : 10.1007/BF01326639
- Meyer, M. (2014). *La rhétorique* (3rd ed.). Paris, France : Presses Universitaires de France.
- Ministère éducation nationale enseignement supérieur recherche. (2010). *Pourquoi une progression annuelle en spirale ?* Retrieved from : http://www.cndp.fr/crdp-rouen/images/pdf/neoprofs/progression_spirale_janv_2010_02.pdf
- Moffet, J.-D. (1995). Des stratégies pour favoriser le transfert des connaissances en écriture au collégial. *Revue des Sciences de l'éducation*, 21, 95-120. doi : 10.7202/502005ar
- Molino, J. (1981). Sur le parallélisme morpho-syntaxique. *Langue Française*, 49, 77-91. doi : 10.3406/lfr.1981.5084
- Monbet, V. (2009). *Test statistiques – notes de cours*. Rennes, France : Université de Rennes. Retrieved from : https://perso.univ-rennes1.fr/valerie.monbet/doc/cours/Cours_Testes_2009.pdf

- Monseur, C. (2013). *Introduction aux théories et aux méthodes de la mesure en sciences psychologiques et en sciences de l'éducation (PSYC0019-1)*. Liège, Belgique : Presses Universitaires de Liège.
- Monseur, C., & Lafontaine, D. (2009). Les évaluations des performances en mathématiques sont-elles influencées par le sexe de l'élève. *Mesure et Evaluation en Education*, 32, 71-98.
- Nguyen-Xuan, A. (1995). Les mécanismes cognitifs d'apprentissage. *Revue Française de Pédagogie*, 112, 57-67. doi : 10.3406/rfp.1995.1226
- Novick, L. R. (1988). Analogical transfer, problem similarity, and expertise. *Journal of Experimental Psychology Learning Memory and Cognition*, 14, 510-520. doi : 10.1037//0278-7393.14.3.510
- Organisation de Coopération et de Développement Economique (OCDE). (2016). PISA 2015, résultats à la loupe. *PISA à la loupe*, 67, 1-14. Retrieved from : <https://www.oecd.org/pisa/pisa-2015-results-in-focus-FR.pdf>
- Paulson, E. J. (2014). Analogical processes and college developmental reading. *Journal of Developmental Education*, 17, 2-13. Retrieved from : <http://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1070259.pdf>
- Pérée, F.P. (2013). *Problèmes statistiques et utilisation de logiciels*. Liège, Belgique : Université de Liège.
- Perelman, C., & Olbrechts-Tyteca, L. (2008). *Traité de l'argumentation : la nouvelle rhétorique*. Bruxelles, Belgique : Editions de l'Université de Bruxelles.
- Perret, C. (2013). Réussir son entrée à l'université dans des filières scientifiques. *L'orientation Scolaire et Professionnelle*, 42, 1-29. doi : 10.4000/osp.4045
- Pirot, L., & De Ketele, J.-M. (2000). L'engagement académique de l'étudiant comme facteur de réussite à l'université ; Etude exploratoire menée dans deux facultés contrastées. *Revue des Sciences de l'Education*, 26, 367-394. doi : 10.7202/000127ar
- Plantin, C. (2011). Analogie et métaphore argumentatives. *A Contrario*, 2, 16, 110-130. Retrieved from : <https://www.cairn.info/revue-a-contrario-2011-2-page-110.htm>
- Poncelet, D., & Lafontaine, D. (2011). Un modèle en pistes causales pour appréhender la complexité du phénomène d'accrochage scolaire lors de la transition primaire-secondaire. *Mesure et Evaluation en Education*, 34, 55-95. Retrieved from : https://orbi.ulg.ac.be/bitstream/2268/114134/1/MeE_v34%20n1_2011_Poncelet.pdf
- Pradère, M., & Tricot, A. (2012). *Comment concevoir un enseignement ?* Bruxelles, Belgique : De Boeck.
- Quet, M. (2014). La circulation des savoirs. Interdisciplinarité, concepts nomades, analogies, métaphores. Frédéric Darbellay (Ed.), Berne, Peter Lang, 2012. *Revue d'Anthropologie des Connaissances*, 8, 221-224. doi : 10.3917/rac.022.0221
- Rakotomalala, R. (2011). *Test de normalité : techniques empiriques et tests statistiques*. Lyon, France : Université de Lyon 2. Retrieved from : https://eric.univ-lyon2.fr/~ricco/cours/cours/Test_Normalite.pdf
- Raynal, F., & Rieunier, A. (2014). *Pédagogie, dictionnaire des concepts clés : Apprentissage, formation, psychologie cognitive* (10th ed.). Issy-les-Moulineaux, France : ESF éditeur.

- Rey, O. (2014). Entre laboratoire et terrain : comment la recherche fait ses preuves en éducation. *Dossier de Veille de l'Institut Français de l'Éducation*, 89, 1-28. Retrieved from : <http://ife.ens-lyon.fr/vst/DA-Veille/89-janvier-2014.pdf>
- Richard, J.-F. (2000). Préface. In E. Sander, *L'analogie, du Naïf au Créatif* (p. III – VIII). Paris, France : L'Harmattan. (Coll. Sciences cognitives).
- Romainville, M. (1997). Peut-on prédire la réussite d'une première année universitaire ? *Revue Française de Pédagogie*, 119, 81-90. doi : 10.3406/rfp.1997.1169
- Rossi, J.-P. (2005). *Psychologie de la mémoire : De la mémoire épisodique à la mémoire sémantique*. Bruxelles, Belgique : De Boeck.
- Rossi, J.-P. (2014). *Les mécanismes de l'apprentissage : Modèle et applications*. Bruxelles, Belgique : De Boeck.
- Saltiel, E. (2008, 18 March). *Comment enseigner l'électricité ?* Retrieved from : <http://www.fondation-lamap.org/fr/page/11929/comment-enseigner-l-lectricit>
- Sander, E. (2000). *L'analogie, du Naïf au Créatif*. Paris, France : L'Harmattan. (Coll. Sciences cognitives).
- Sander, E. (2014). Penser par analogie. In J.-F. Dortier, *Le cerveau et la pensée : Le nouvel âge des sciences cognitives* (pp. 346-354). Auxerre, France : Editions Sciences Humaines.
- Sander, E., Hofstadter, D. (2010). La vie politique est-elle un concours de métaphores ? *Sciences Humaines*, 215, 44-47.
- Sarrazin, P., Tessier, D., & Trouilloud, D. (2006). Climat motivationnel instauré par l'enseignant et implication des élèves en classe : l'état des recherches. *Revue Française de Pédagogie*, 157, 147-177. doi : 10.4000/rfp.463
- Sauleau, E.-A., & Meyer, N. (2008). *Test non paramétriques*. Strasbourg, France : Laboratoire de Biostatistique – Faculté de Médecine. Retrieved from : http://udsmed.u-strasbg.fr/labioestat/IMG/pdf/non_param_EAS_SB1.pdf
- Saussez, F. & Lessard, C. (2009). Entre orthodoxie et pluralisme, les enjeux de l'éducation basée sur la preuve. *Revue française de pédagogie*, 168, 111-136. doi : 10.4000/rfp.1804
- Schiavone, A. (2014). Les limites de l'analogie historique (G. Larché, Trans.). *Le débat*, 179, 74-80. doi : 10.3917/deba.179.0074
- Schwarz Coulange, M. (2008). De la représentation du français et du créole dans le cinéma haïtien : le cas du film « Barikad ». Retrieved from : http://www.memoireonline.com/05/09/2092/m_De-la-representation-du-franais-et-du-creole-dans-le-cinema-haiumltien-le-cas-du-film-barika17.html
- Simons, P. R. (1984). Instructing with analogies. *Journal of Educational Psychology*, 76, 513-527. doi : 10.1037/0022-0663.76.3.513
- Spiro, R. J., Feltovich, P. J., Coulson, R. L., & Anderson, D. K. (1989). Multiple analogies for complex concepts : Antidotes for analogy-induced misconception in advanced knowledge acquisition. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning* (pp. 498-531). Cambridge, Royaume-Unis : Cambridge University Press.

- SPSS 17. (n.d.). *Anova à plan factoriel*. Retrieved from : <http://spss.espaceweb.usherbrooke.ca/pages/stat-inferentielles/anova-a-plan-factoriel.php>
- Steiner, P. (2005). Introduction cognitivisme et sciences cognitives. *Labyrinthe*, 20, 13-19. doi : 10.4000/labyrinthe.754
- Sternberg, R. J. (2007). *Manuel de psychologie cognitive* (A. Brossard Trans.). Bruxelles, Belgique : De Boeck.
- Sternberg, R. J., & Sternberg, K. (2012). *Cognitive psychology* (6th ed.). Belmont, CA : Wadsworth.
- Strebelle, A., Depover, C., & Noël, B. (2002). *Favoriser l'acquisition et le transfert de compétences à l'école*. Acte de la sixième biennale de l'éducation et la formation, Paris, France.
- Supasorn, S., & Promarak, V. (2015). Implementation of 5E inquiry incorporated with analogy learning approach to enhance conceptual understanding of chemical reaction rate for grade 11 students. *Chemistry Education Research Practice*, 16, 121-132. doi : 10.1039/c4rp00190g *Psychological Science*, 1-6. Doi : 10.1177/0956797613518279
- Tileman, F., & Grootaers, D. (2006). *Les chemins de la pédagogie, guide des idées sur l'éducation, la formation et l'apprentissage*. Charleroi, Belgique : Editions Couleur livres.
- Tourangeau, R., & Rips, L. (1991). Interpreting and evaluating metaphors. *Journal of Memory and Language*, 30, 452-472. doi : 10.1016/0749-596x(91)90016-D
- Vendetti, M. S., Wu, A., & Holyoak, K. J. (2014). Far-out thinking : generating solutions to distant analogies promotes relational thinking. *Psychological Science*, 1-6. doi : 10.1177/0956797613518079
- Verbeke, G. (1990). *D'Aristote à Thomas d'Aquin : antécédents de la pensée moderne : recueil d'articles*. Louvain, Belgique : Leuven University Press.
- Vezein, L. (1986). Les illustrations, leur rôle dans l'apprentissage des textes. *Enfance*, 39, 109-126. Retrieved from : http://www.persee.fr/doc/enfan_0013-7545_1986_num_39_1_2911
- Viviers, D. (2015). *Sens, valeurs, objectifs et missions de l'école du XXI^e siècle* (Rapport du Groupe de Travail 2). Fédération Wallonie Bruxelles, Belgique : Pacte pour un enseignement d'excellence. Retrieved from : <http://www.pactedexcellence.be/wp-content/uploads/2015/01/rapportGT2-VF.pdf>
- Vosniadou, S., & Ortony, A. (1983). The influence of analogy in children's acquisition of new information from text : an exploratory study. In J. A. Niles & L. A. Harris, *Searches for Meaning in Reading/language : Processing and Instruction* (pp. 71-79). Rochester, N. Y. : National Reading Conference.
- Vuilleumier, B. (2006, April 24). *Energie cinétique, potentielle et mécanique : Théorèmes et loi de conservation*. Retrieved from : <http://owl-ge.ch/ressources/physique-3e-annee/article/energie-cinetique-potentielle-et-mecanique>
- Weinberg, A. (2009). Aux sources de l'éloquence. *Sciences Humaines*, 209, 31-35.
- White, H., & Sabarwal, S. (2014). Méthodes et modèles quasi expérimentaux. *UNICEF, Notes méthodologique, évaluation d'impact*, 8. Retrieved from : <https://www.unicef-irc.org/publications/pdf/MB8FR.pdf>

9. Annexes

9.1. Annexe n°1 – exemple « les trois ingrédients de l’analogie »

Afin d’illustrer les trois ingrédients inhérents aux analogies, nous vous invitons à considérer l’analogie du système solaire ; analogie souvent utilisée dans les classes de sciences de l’enseignement secondaire afin de permettre aux étudiants de visualiser le modèle atomique. Au sein de cette célèbre analogie, nous pouvons distinguer avec aisance et de façon intelligible les trois ingrédients distincts :

- Le modèle atomique constitue ici la situation cible (« *thème* ») ; en effet, le modèle atomique constitue un domaine de connaissance nouveau que l’apprenant cherche à appréhender.
- Le système solaire constitue, quant à lui, la situation source (« *phore* ») ; en effet, le système scolaire constitue un domaine de connaissance connu par l’apprenant et qui va lui servir de base à la compréhension de la cible.
- Le lien analogique liant ici le « *thème* » et le « *phore* » est la gravitation d’éléments autour d’un élément central : pour le système solaire, ce sont les planètes qui gravitent autour d’une étoile appelée soleil ; pour le modèle atomique, ce sont des protons, des électrons et des neutrons qui gravitent autour d’un noyau.

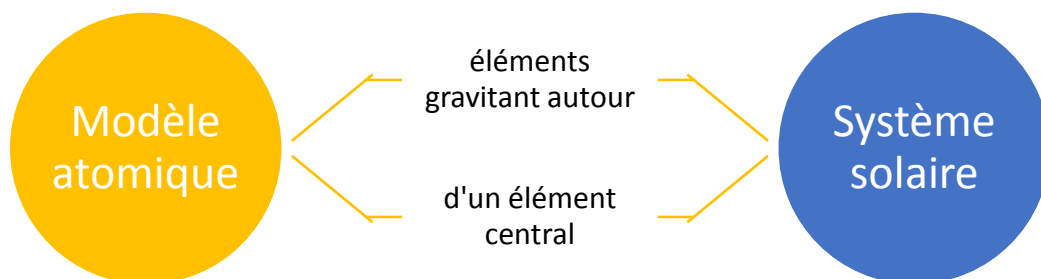


Figure 14: exemple des trois ingrédients de l'analogie

9.2. Annexe n°2 – exemple d'un manuel analogique

L'exemple que nous vous proposons ici est issu de la publication de Bean et al. (1986, p. 48) ; il illustre, à notre sens, merveilleusement bien le concept de « *guide d'étude analogique* » ou de « *manuel analogique* » en appliquant ce concept au cas particulier des fonctions cellulaires et leur analogie dite de l'usine.

Structure	Fonctions principales	Analogies (la cellule est comparée à une usine)
Paroi cellulaire	Support, protection	Murs de l'usine
Membrane cellulaire	Frontière, gardien	Vigiles
Cytoplasme	Principal lieu du métabolisme	Lieu de production
Centrioles	Reproduction cellulaire	?
...

Tableau 19 : manuel analogique des structures et des fonctions cellulaires (Bean et al., 1986, p. 48)

9.3. Annexe n°3 – illustration « la diversité de notre environnement »

Afin d'illustrer l'affirmation faite quant à la diversité inhérente à notre environnement quotidien, prenons un concept quelconque que nous connaissons tous : le concept de « chaise ». Le dictionnaire « *Le Robert illustré de 2012* » (p. 327) définit le concept de « chaise » comme un « *siège à dossier et sans bras pour une personne* ». Certes, durant notre vie, nous avons rencontré de nombreuses chaises correspondant à cette description du concept ; comme, à titre d'exemples, les deux chaises que nous vous proposons ci-dessous.



Figure 15: exemple de chaises correspondant à la définition du dictionnaire

Néanmoins, à de nombreuses reprises dans notre vie, nous avons rencontré d'autres objets qui, malgré qu'ils ne correspondent pas totalement à la définition du dictionnaire du concept de « chaise », ont été rapidement et facilement catégorisés, dans nos esprits, comme étant des « chaises ». La preuve en est, nous nous sommes sans doute assis sur certains des sièges présentés ci-dessous.



Figure 16: exemples de chaises avec bras

Confrontés à ces chaises, nous avons sans doute dû adapter notre concept de « chaise » ; désormais une chaise est devenu pour nous un « *siège à dossier, porté par quatre pieds, pour une personne* ». Notre définition personnelle du concept de « chaise » n'est cependant pas à l'abri de se voir encore subir des modifications. En effet, confrontés à des chaises, comme celles présentées ci-dessous, la

caractéristique « porté par quatre pieds » ne sera plus adéquate pour les sièges que nous catégorisons comme appartenant au concept de « chaise » ...



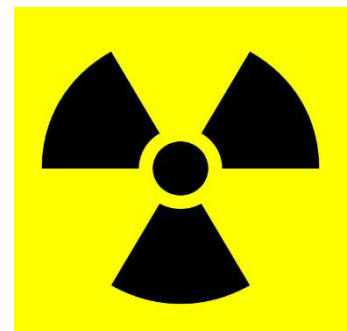
Figure 17: exemples de chaises à 6 et 3 pieds

Cet exemple, choisi parmi une infinité d'autres exemples possibles, nous permet de conclure, au même titre que Douglas Hofstadter et Emmanuel Sander (2013), que chaque concept, et par extension chaque catégorie, possède en son sein des possibilités illimitées d'exemplaires distincts ; si bien, que, vivant dans un environnement fait de diversité, chaque expérience vécue au cours de notre vie est unique en son genre (Gentner & Holoyak, 1997).

9.4. Annexe n°4 – explication du concept de fission pour toutes les conditions

La fission nucléaire est la réaction à l'origine de la production d'énergie nucléaire. En effet, une centrale nucléaire produit de l'énergie électrique sur base de combustibles nucléaires ; c'est-à-dire sur base d'atomes dont le noyau a la capacité de se casser sous l'action d'un neutron, et, ce faisant, de libérer une quantité considérable d'énergie. Ce fractionnement du noyau de l'atome nucléaire s'appelle la fission nucléaire. Les principaux atomes pouvant subir ces fissions sont l'uranium 233, l'uranium 235, le plutonium 239 et le plutonium 241.

Ce combustible nucléaire est placé au cœur du réacteur dans lequel il est bombardé par plusieurs neutrons se déplaçant à la vitesse adéquate. Quand un noyau d'uranium 235 absorbe un neutron, il se fractionne en deux fragments ; cette fission génère une grande quantité d'énergie sous forme de chaleur. Chaque fission produit à son tour des neutrons d'énergie élevée qui, en se déplaçant parmi les atomes d'uranium 235 peuvent provoquer la fission d'un



nouveau noyau d'atome d'uranium 235 et générer ainsi des réactions en chaîne ; qu'on appelle cascade de fissions. Précisions, que dans nos centrales nucléaires cette réaction en chaîne est contrôlée afin d'éviter qu'elle prenne des proportions énormes et provoquent des incidents. La fission d'un gramme d'uranium produit plus de chaleur que la combustion d'une tonne de pétrole.

Le réacteur nucléaire récupère alors cette chaleur et l'utilise pour chauffer un fluide et produire de la vapeur. Cette vapeur passe ensuite par des turbines qui, en tournant, produisent de l'énergie mécanique transformée en énergie électrique par un alternateur. Pour finir, la vapeur passe par un condensateur afin de redevenir liquide ; ce liquide passera ensuite dans un conduit au sein de la tour de refroidissement dans laquelle il est refroidit avec de l'eau. Après avoir été refroidit, le fluide pourra être réutilisé.

9.5. Annexe n°5 – questionnaire

Informations personnelles

Numéro de code : _ _ _ _ _

2 premières lettres du prénom + 2 première lettres du nom + jour de naissance + mois de naissance

Nom : **Prénom :**

Sexe :

- Homme
- Femme

Age :

Type d'enseignement fréquenté : **Année d'étude :**

- Secondaire général
- Secondaire technique
- Secondaire professionnel

Options/orientation :

Nom de l'établissement scolaire :

.....

Quelques questions sur la fission nucléaire

Réponds à cette question après avoir lu le texte fourni avec ce questionnaire. Attention, il est important que tu répondes à cette question sans retourner à ton texte.

1. Retranscris tous les éléments relatifs à la fission et à l'énergie nucléaire dont tu te souviens après cette lecture ?

Pour les questions suivantes, tu peux réutiliser ton texte !

2. Schématise le principe de la cascade de fissions nucléaires ! N'oublie pas de nommer chaque composante de ton schéma.

3. Exemplifie les différentes étapes de la production électrique d'une centrale nucléaire en les schématisant. Nomme chaque composante de ton schéma et n'oublie pas d'organiser celui-ci chronologiquement.

4. L'image que nous avons tous des centrales nucléaires est leur(s) grande(s) tour(s) dégageant de la fumée, comme sur la photo ci-dessous. Selon toi, la fumée qui se dégage de ces tours est-elle polluante ? Explique le plus clairement possible ton avis.



5. En sachant que le principe de base à l'origine des bombes nucléaires est la fission nucléaire. Peux-tu expliquer avec tes mots ce qui provoque l'explosion de ces bombes ?

9.6. Annexe n°6 – questionnaire à destination des professionnels des sciences

<u>Informations personnelles</u>	
Nom :	Prénom :
.....	
Sexe (soulignez la case adéquate) :	Age :
<input type="checkbox"/> Homme	Nom de l'établissement scolaire/de
<input type="checkbox"/> Femme	
Fonction (soulignez la case adéquate) :	l'organisation
<input type="checkbox"/> Enseignant du secondaire degré inférieur
<input type="checkbox"/> Enseignant du secondaire degré supérieur
<input type="checkbox"/> Doctorant	
<input type="checkbox"/> Autre	
En remplissant ce questionnaire, vous certifiez travailler dans un domaine relatif aux sciences physiques, chimiques et/ou biologiques.	

Bonjour Monsieur/Madame,

Tout d'abord, je réitère mes remerciements quant à votre participation à cette enquête.

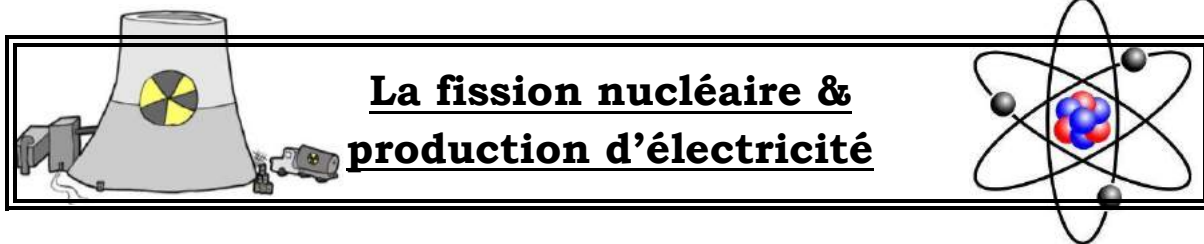
Je me permets de préciser les quatre étapes par lesquelles vous allez devoir passer afin de participer à cette phase de ma recherche :

- 1) Lire le texte se trouvant à la page suivante.
- 2) Lire chaque question (5) se trouvant après ce texte ; ces questions sont identiques à celles auxquelles les élèves ont été invités à répondre.
- 3) Ecrire, pour chaque question et dans la colonne du tableau prévu à cet effet, les critères que vous utiliseriez afin d'évaluer les réponses des étudiants.
- 4) Pondérer, pour chaque question et dans la colonne du tableau prévu à cet effet, chacun des critères en leur répartissant 10 points par question.

Les tableaux prévus afin d'indiquer les critères et la pondération de ces derniers possèdent chacun six lignes. Cela ne veut pas dire qu'il faut absolument indiquer six critères. Vous pouvez augmenter le nombre de lignes de ce tableau et/ou ne pas remplir toutes les lignes ; à vous de décider.

N'hésitez pas à bien décrire chaque critère afin d'éviter toute confusion.

Bon travail !



La fission nucléaire est la réaction à l'origine de la production d'énergie nucléaire. En effet, une centrale nucléaire produit de l'énergie électrique sur base de combustibles nucléaires ; c'est-à-dire sur base d'atomes dont le noyau a la capacité de se casser sous l'action d'un neutron, et, ce faisant, de libérer une quantité considérable d'énergie. Ce fractionnement du noyau de l'atome nucléaire s'appelle la fission nucléaire. Les principaux atomes pouvant subir ces fissions sont l'uranium 233, l'uranium 235, le plutonium 239 et le plutonium 241.



Ce combustible nucléaire est placé au cœur du réacteur dans lequel il est bombardé par plusieurs neutrons se déplaçant à la vitesse adéquate. Quand un noyau d'uranium 235 absorbe un neutron, il se fractionne en deux fragments ; cette fission génère une grande quantité d'énergie sous forme de chaleur. Chaque fission produit à son tour des neutrons d'énergie élevée qui, en se déplaçant parmi les atomes d'uranium 235 peuvent provoquer la fission d'un nouveau noyau d'atome d'uranium 235 et générer ainsi des réactions en chaîne ; qu'on appelle cascade de fissions. Précisions, que dans nos centrales nucléaires cette réaction en chaîne est contrôlée

afin d'éviter qu'elle prenne des proportions énormes et provoquent des incidents. La fission d'un gramme d'uranium produit plus de chaleur que la combustion d'une tonne de pétrole.

Le réacteur nucléaire récupère alors cette chaleur et l'utilise pour chauffer un fluide et produire de la vapeur. Cette vapeur passe ensuite par des turbines qui, en tournant, produisent de l'énergie mécanique transformée en énergie électrique par un alternateur. Pour finir, la vapeur passe par un condensateur afin de redevenir liquide ; ce liquide passera ensuite dans un conduit au sein de la tour de refroidissement dans laquelle il est refroidit avec de l'eau. Après avoir été refroidit, le fluide pourra être réutilisé.

4. L'image que nous avons tous des centrales nucléaires est leur(s) grande(s) tour(s) dégageant de la fumée, comme sur la photo ci-dessous. Selon toi, la fumée qui se dégage de ces tours est-elle polluante ? Explique le plus clairement possible ton avis.



Critère(s)	Pondération
	Total ... /10

5. En sachant que le principe de base à l'origine des bombes nucléaires est la fission nucléaire. Peux-tu expliquer avec tes mots ce qui provoque l'explosion de ces bombes ?

Critère(s)	Pondération
	Total ... /10

9.7. Annexe n°7 - Grille d'évaluation/codage des réponses aux questionnaires

1. **Retranscris tous les éléments relatifs à la fission et à l'énergie nucléaire dont tu te souviens après cette lecture ?**

Item	Critère(s)	Pondération	Note
A	Atomes ou combustibles nucléaire (général 0.5 + 0.25 par spécifique)	1.5	
B	Neutron	1	
C	Bombardement	1	
D	Fractionnement/fission	1	
E	Réaction en chaîne	1	
F	Énergie thermique issue des cascades de fission	2	
G	Centrale récupère la chaleur issue de la fission	1	
H	Production électrique sur base de l'énergie thermique (0.5 point pour énergie électrique + 1 si explicitation du passage entre énergie thermique, mécanique et électrique)	1.5	
		Total ... /10	

2. **Schématise le principe de la cascade de fissions nucléaires ! N'oublie pas de nommer chaque composante de ton schéma.**

Item	Critère(s)	Pondération	Note
I	Justesse du schéma et complétude des étapes (nom - moitié + dessin moitié)		
	i.1. Uranium 235/ <u>atome nucléaire</u>	1	
	i.2. Neutron	1	
	i.3. Bombardement	1	
	i.4. Fragmentation/Fission	1	
	i.5. Nucléides/fragments/atomes fils	1	
	i.6. Cascade	3	
	i.7. Production de chaleur	1	
J	Chronologie	1	
		Total ... /10	

3. Exemplifie les différentes étapes de la production électrique d'une centrale nucléaire en les schématisant. Nomme chaque composante de ton schéma et n'oublie pas d'organiser celui-ci chronologiquement.

Item	Critère(s)	Pondération	Note
K	Justesse du schéma et complétude des étapes (nom - moitié + dessin moitié)		
	k.1. Combustible nucléaire	1	
	k.2. Réacteur +fission	1	
	k.3. Production de chaleur	1	
	k.4. Fluide/eau	1	
	k.5. Vapeur	1	
	k.6. Turbine	1	
	k.7. Alternateur	1	
	k.8. Condensateur	1	
k.9. Retour du fluide/eau en début de cycle	1		
L	Chronologie	1	
		Total ... /10	

4. L'image que nous avons tous des centrales nucléaires est leur(s) grande(s) tour(s) dégageant de la fumée, comme sur la photo ci-dessous. Selon toi, la fumée qui se dégage de ces tours est-elle polluante ? Explique le plus clairement possible ton avis.

Item	Critère(s)	Pondération	Note
M	Non, pas polluant	2	
N	Quoi ? Vapeur d'eau	3	
O	Provenance ? Tour de refroidissement	2	
P	Fonction ? Refroidissement du réacteur/des fluides au sein du condensateur	2	
Q	Pas de contact entre l'eau et la matière fissible/radioactive	1	
		Total ... /10	

5. En sachant que le principe de base à l'origine des bombes nucléaires est la fission nucléaire. Peux-tu expliquer avec tes mots ce qui provoque l'explosion de ces bombes ?

Item	Critère(s)	Pondération	Note
R	Assemblage des matériaux permettant la fission	2	
S	Réaction en chaîne importante	3	
T	Fission non contrôlée	2	
U	Dégagement (libération) important d'énergie sur un court laps de temps => explosion	3	
		Total ... /10	

9.8. Annexe n°8 – Histogrammes des moyennes

9.8.1. Variable mémorisation

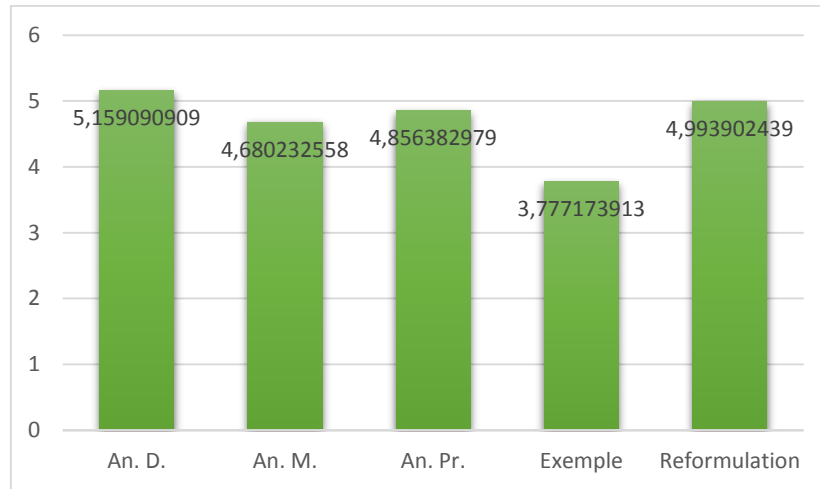


Figure 18 : histogramme des moyennes pour la variable "Mémorisation" selon la condition expérimentale

9.8.2. Variable compréhension proche

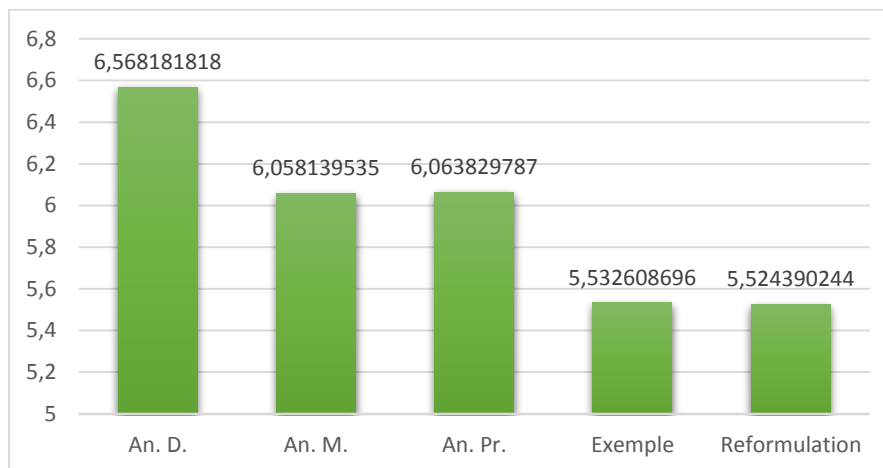


Figure 19 : histogramme des moyennes pour la variable "compréhension proche" selon la condition expérimentale

9.8.3. Variable compréhension médiane

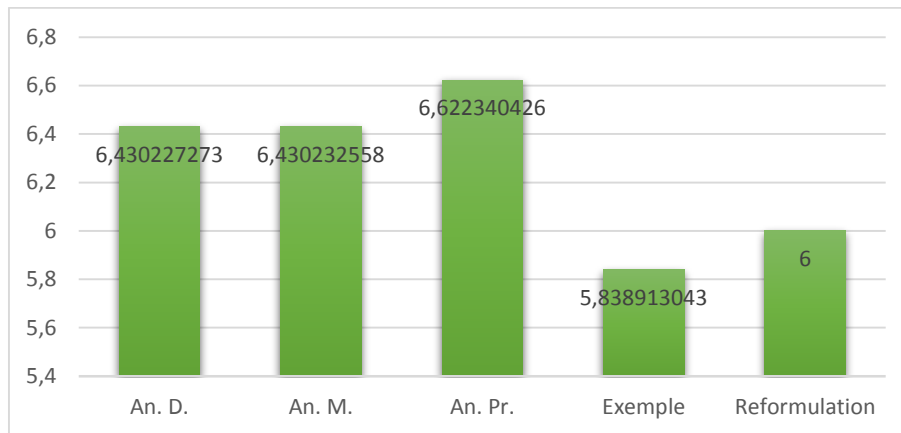


Figure 20 : histogramme des moyennes pour la variable "compréhension médiane" selon la condition expérimentale

9.8.4. Variable compréhension distale

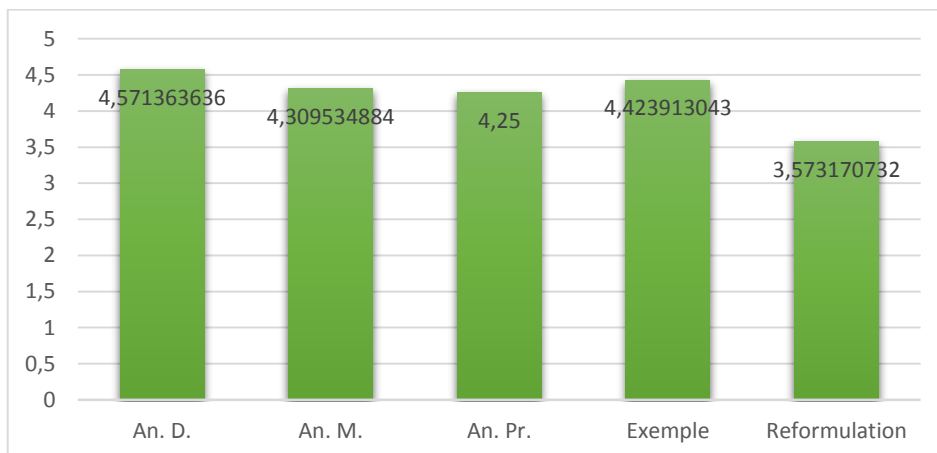


Figure 21 : histogramme des moyennes pour la variable "compréhension distale" selon la condition expérimentale

9.8.5. Variable transfert

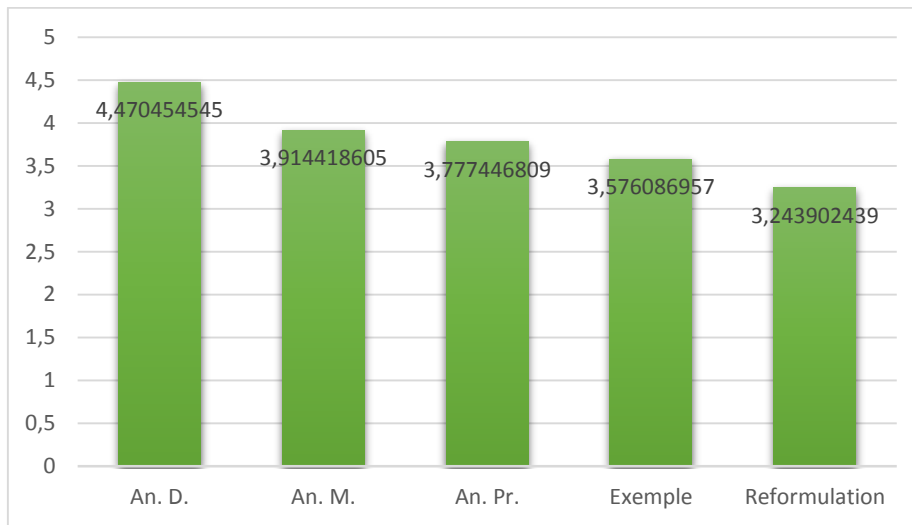


Figure 22 : histogramme des moyennes pour la variable "transfert" selon la condition expérimentale

9.9. Annexe n°9 – Tableaux statistiques du test de Grubbs réalisé au sein de chaque groupe expérimental/contrôle

9.9.1. Condition contrôle reformulation

Tableau 20 : Test de Grubbs pour les valeurs atypiques au sein du groupe contrôle reformulation

Variable	N	Test statistique de Grubbs	Valeur p
<i>Mémorisation</i>	41	1.755251	1
<i>Compréhension proche</i>	41	3.150684	0.031684
<i>Compréhension médiane</i>	41	2.783369	0.143809
<i>Compréhension distale</i>	41	1.841772	1
<i>Transfert</i>	41	1.929806	1

9.9.2. Condition contrôle exemple

Tableau 21 : Test de Grubbs pour les valeurs atypiques au sein du groupe contrôle reformulation

Variable	N	Test statistique de Grubbs	Valeur p
<i>Mémorisation</i>	46	2.058365	1
<i>Compréhension proche</i>	46	2.776340	0.174956
<i>Compréhension médiane</i>	46	2.004263	1
<i>Compréhension distale</i>	46	1.858475	1
<i>Transfert</i>	46	2.026356	1

9.9.3. Condition expérimentale analogie proche

Tableau 22 : Test de Grubbs pour les valeurs atypiques au sein du groupe expérimentale analogie proche

Variable	N	Test statistique de Grubbs	Valeur p
<i>Mémorisation</i>	47	2.032041	1
<i>Compréhension proche</i>	47	3.067050	0.058
<i>Compréhension médiane</i>	47	2.913795	0.107605
<i>Compréhension distale</i>	47	1.894209	1
<i>Transfert</i>	47	1.960476	1

9.9.4. Condition expérimentale analogie médiane

Tableau 23 : Test de Grubbs pour les valeurs atypiques au sein du groupe expérimentale analogie médiane

Variable	N	Test statistique de Grubbs	Valeur p
<i>Mémorisation</i>	43	2.026416	1
<i>Compréhension proche</i>	43	3.691677	0.002251
<i>Compréhension médiane</i>	43	1.974944	1
<i>Compréhension distale</i>	43	1.464246	1
<i>Transfert</i>	43	2.734928	0.184664

9.9.5. Condition expérimentale analogie distale

Tableau 24 : Test de Grubbs pour les valeurs atypiques au sein du groupe expérimentale analogie distale

Variable	N	Test statistique de Grubbs	Valeur p
<i>Mémorisation</i>	44	1.892035	1
<i>Compréhension proche</i>	44	2.845880	0.126332
<i>Compréhension médiane</i>	44	2.743798	0.184826
<i>Compréhension distale</i>	44	1.664624	1
<i>Transfert</i>	44	2.028074	1

9.10. Annexe n°10 – tests de normalités réalisés sur l'ensemble de l'échantillon

9.10.1. Variable mémorisation

Tableau 25 : tableau des fréquences et test de Lilliefors (variable mémorisation - effectif complet)

Table de fréquences : Tot 1 (Données recueillies sans mortalité)						
K-S d=,08032, p<,15 ; Lilliefors p<,01						
Shapiro-Wilk W=,96710, p=,00005						
Catégorie	Effectifs	Effectifs Cumulés	% Indiv. Actifs	% Cumulé Ind. Act.	% toutes Observ.	% Cumulé du Total
-2,00000<x<=0,000000	2	2	0,90090	0,9009	0,90090	0,9009
0,000000<x<=2,000000	37	39	16,66667	17,5676	16,66667	17,5676
2,000000<x<=4,000000	65	104	29,27928	46,8468	29,27928	46,8468
4,000000<x<=6,000000	53	157	23,87387	70,7207	23,87387	70,7207
6,000000<x<=8,000000	45	202	20,27027	90,9910	20,27027	90,9910
8,000000<x<=10,00000	20	222	9,00901	100,0000	9,00901	100,0000
VM	0	222	0,00000		0,00000	100,0000

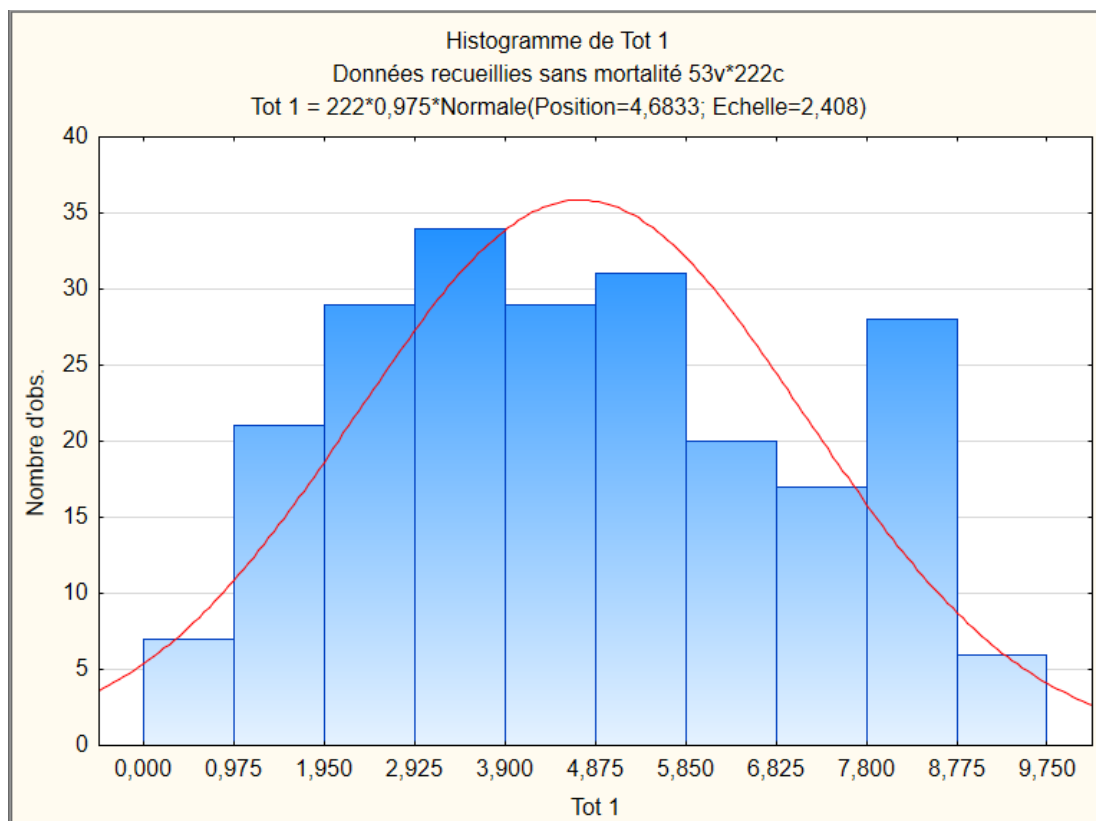


Figure 23 : Distribution de la variable mémorisation au regard de la distribution normale

9.10.2. Variable compréhension proche

Tableau 26 : tableau des fréquences et test de Lilliefors (variable compréhension proche - effectif complet)

Table de fréquences : Tot 2 (Données recueillies sans mortalité)						
K-S d=,12298, p<,01 ; Lilliefors p<,01						
Shapiro-Wilk W=,94112, p=,00000						
Catégorie	Effectifs	Effectifs Cumulés	% Indiv. Actifs	% Cumulé Ind. Act.	% toutes Observ.	% Cumulé du Total
-2,00000<x<=0,00000	5	5	2,25225	2,2523	2,25225	2,2523
0,00000<x<=2,00000	5	10	2,25225	4,5045	2,25225	4,5045
2,00000<x<=4,00000	19	29	8,55856	13,0631	8,55856	13,0631
4,00000<x<=6,00000	87	116	39,18919	52,2523	39,18919	52,2523
6,00000<x<=8,00000	91	207	40,99099	93,2432	40,99099	93,2432
8,00000<x<=10,00000	15	222	6,75676	100,0000	6,75676	100,0000
VM	0	222	0,00000		0,00000	100,0000

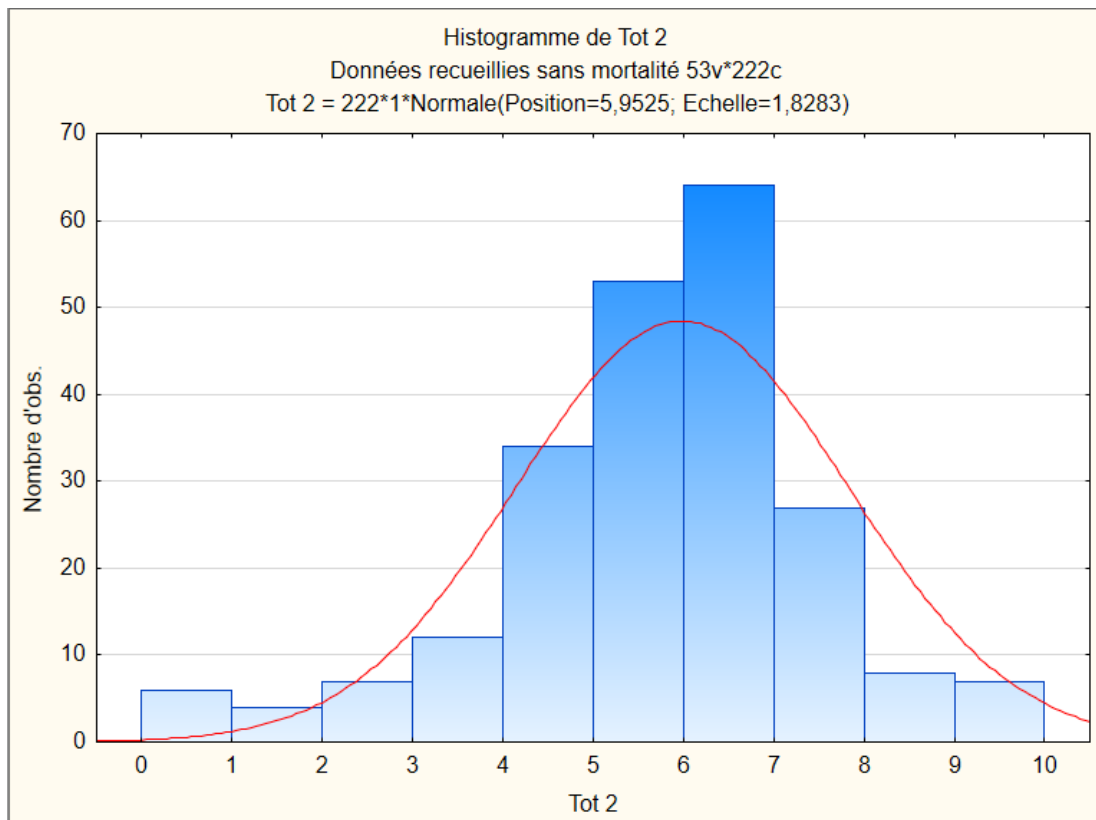


Figure 24 : Distribution de la variable compréhension proche au regard de la distribution normale

9.10.3. Variable compréhension médiane

Tableau 27 : tableau des fréquences et test de Lilliefors (variable compréhension médiane - effectif complet)

Table de fréquences : Tot 3 (Données recueillies sans mortalité)
 K-S d=,11837, p<,01 ; Lilliefors p<,01
 Shapiro-Wilk W=,94724, p=,00000

Catégorie	Effectifs	Effectifs Cumulés	% Indiv. Actifs	% Cumulé Ind. Act.	% toutes Observ.	% Cumulé du Total
-2,00000<x<=0,00000	6	6	2,70270	2,7027	2,70270	2,7027
0,00000<x<=2,00000	2	8	0,90090	3,6036	0,90090	3,6036
2,00000<x<=4,00000	33	41	14,86486	18,4685	14,86486	18,4685
4,00000<x<=6,00000	46	87	20,72072	39,1892	20,72072	39,1892
6,00000<x<=8,00000	90	177	40,54054	79,7297	40,54054	79,7297
8,00000<x<=10,00000	45	222	20,27027	100,0000	20,27027	100,0000
VM	0	222	0,00000		0,00000	100,0000

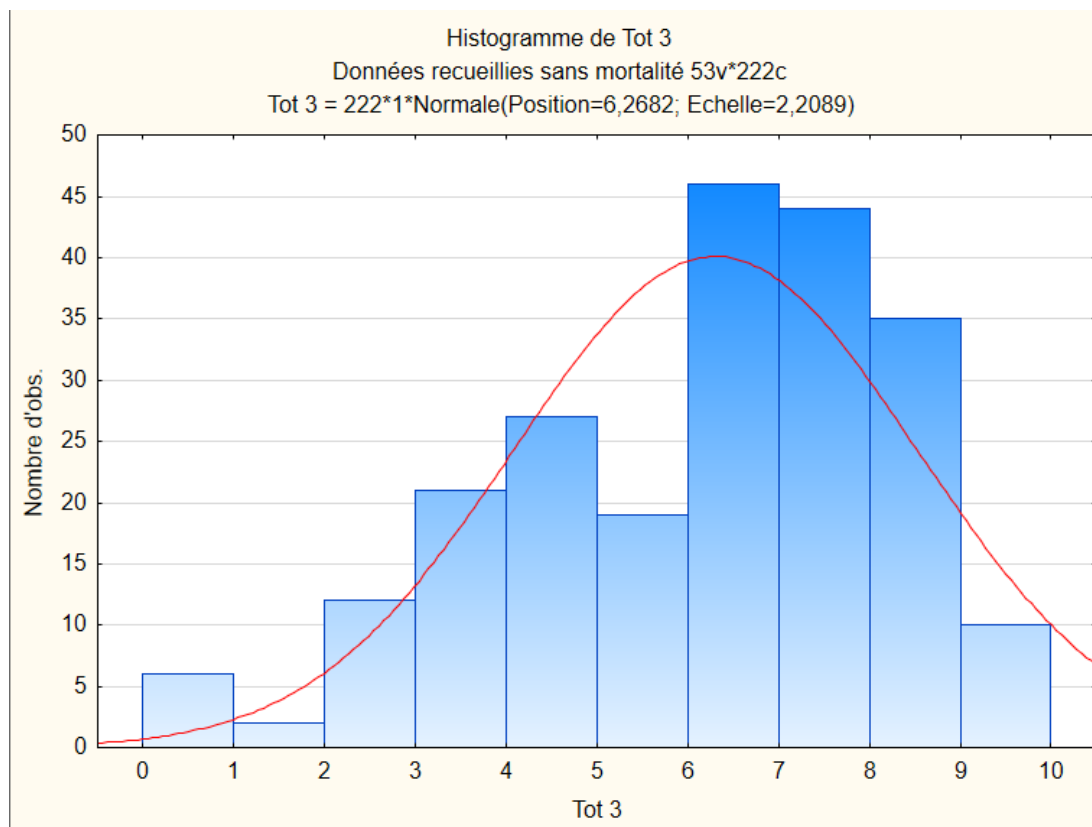


Figure 25 : Distribution de la variable compréhension médiane au regard de la distribution normale

9.10.4. Variable compréhension distale

Tableau 28 : tableau des fréquences et test de Lilliefors (variable compréhension distale - effectif complet)

Table de fréquences : Tot 4 (Données recueillies sans mortalité)						
K-S d=,23146, p<,01 ; Lilliefors p<,01						
Shapiro-Wilk W=,87287, p=,00000						
Catégorie	Effectifs	Effectifs Cumulés	% Indiv. Actifs	% Cumulé Ind. Act.	% toutes Observ.	% Cumulé du Total
-2,00000<x<=0,00000	56	56	25,22523	25,2252	25,22523	25,2252
0,00000<x<=2,00000	7	63	3,15315	28,3784	3,15315	28,3784
2,00000<x<=4,00000	12	75	5,40541	33,7838	5,40541	33,7838
4,00000<x<=6,00000	92	167	41,44144	75,2252	41,44144	75,2252
6,00000<x<=8,00000	46	213	20,72072	95,9459	20,72072	95,9459
8,00000<x<=10,00000	9	222	4,05405	100,0000	4,05405	100,0000
VM	0	222	0,00000		0,00000	100,0000

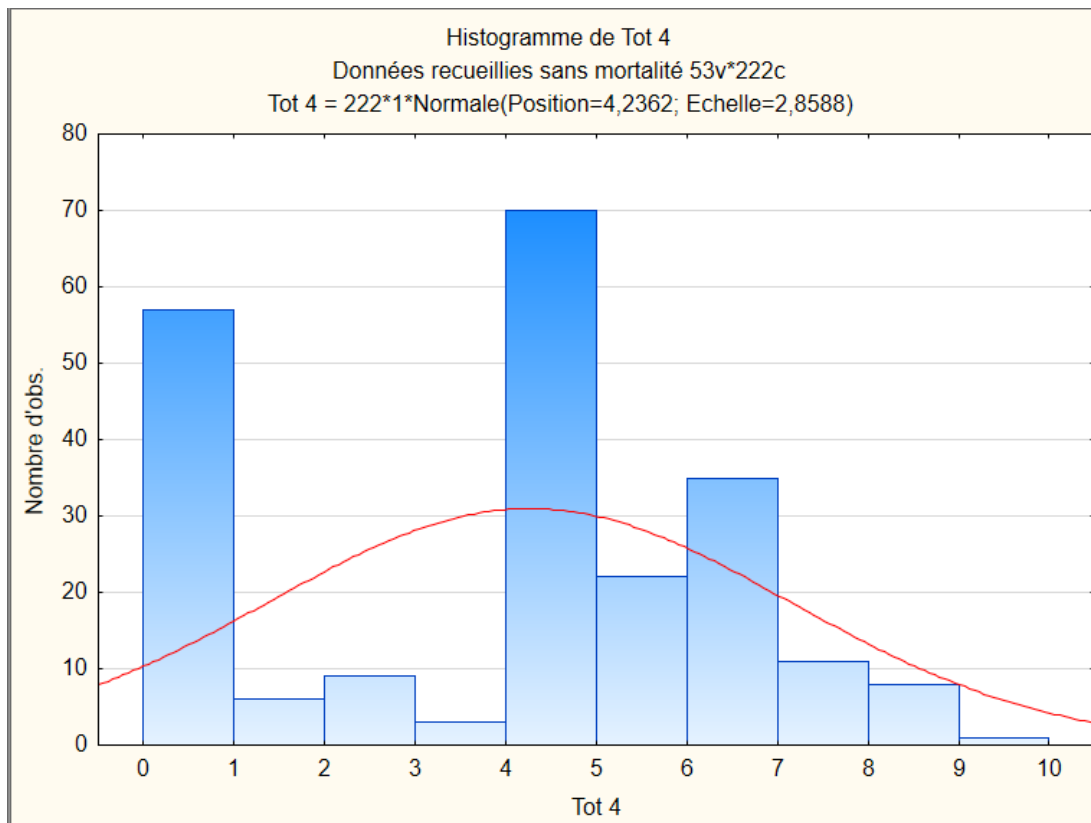


Figure 26 : Distribution de la variable compréhension distale au regard de la distribution normale

9.10.5. Variable transfert

Tableau 29: tableau des fréquences et test de Lilliefors (variable transfert - effectif complet)

Table de fréquences : Tot 5 (Données recueillies sans mortalité)						
K-S d=,07032, p> .20; Lilliefors p<,01						
Shapiro-Wilk W=,97507, p=,00058						
Catégorie	Effectifs	Effectifs Cumulés	% Indiv. Actifs	% Cumulé Ind. Act.	% toutes Observ.	% Cumulé du Total
-2,00000<x<=0,00000	19	19	8,55856	8,5586	8,55856	8,5586
0,00000<x<=2,00000	39	58	17,56757	26,1261	17,56757	26,1261
2,00000<x<=4,00000	64	122	28,82883	54,9550	28,82883	54,9550
4,00000<x<=6,00000	63	185	28,37838	83,3333	28,37838	83,3333
6,00000<x<=8,00000	35	220	15,76577	99,0991	15,76577	99,0991
8,00000<x<=10,00000	2	222	0,90090	100,0000	0,90090	100,0000
VM	0	222	0,00000		0,00000	100,0000

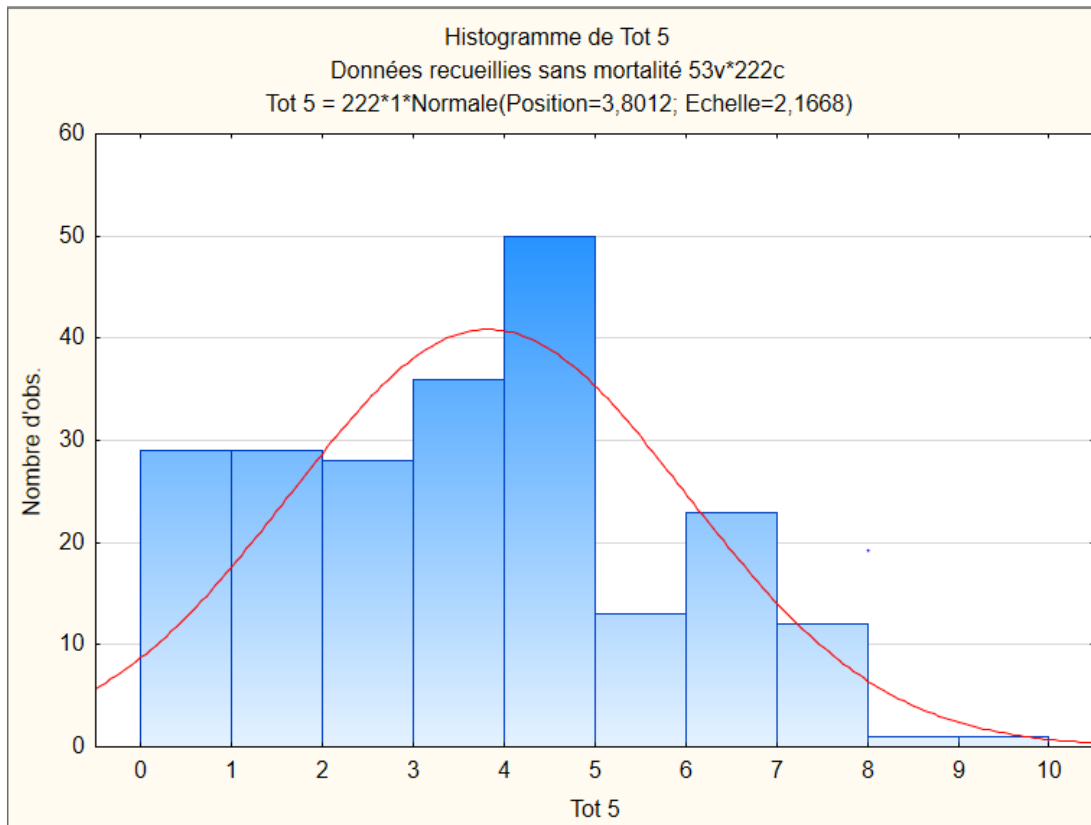


Figure 27 : Distribution de la variable transfert au regard de la distribution normale

9.11. Annexe n°11 – Résultats des tests de Shapiro-Wilk au sein des différents groupes expérimentaux

9.11.1. Légende

Tot 1 = variable mémorisation.

Tot 2 = variable compréhension proche.

Tot 3 = variable compréhension médiane.

Tot 4 = variable compréhension distale.

Tot 5 = variable transfert.

9.11.2. Condition contrôle reformulation

Tableau 30 : test de Shapiro-Wilk au sein du groupe reformulation et ce sur les 5 variables

Variable	Condition expérimentale=Reformulation Tests de Normalité (Données recueillies sans mortalité)					
	N	D max	K-S p	Lillief. p	W	p
Tot 1	41	0,139560	p > .20	p < ,05	0,937848	0,026528
Tot 2	41	0,192267	p < ,10	p < ,01	0,911083	0,003581
Tot 3	41	0,134146	p > .20	p < ,10	0,933161	0,018413
Tot 4	41	0,228836	p < ,05	p < ,01	0,846328	0,000061
Tot 5	41	0,095470	p > .20	p > .20	0,951410	0,078439

9.11.3. Condition contrôle exemple

Tableau 31 : test de Shapiro-Wilk au sein du groupe exemple et ce sur les 5 variables

Variable	Condition expérimentale=Exemple Tests de Normalité (Données recueillies sans mortalité)					
	N	D max	K-S p	Lillief. p	W	p
Tot 1	46	0,197806	p < ,10	p < ,01	0,917793	0,003158
Tot 2	46	0,142843	p > .20	p < ,05	0,932581	0,010443
Tot 3	46	0,148114	p > .20	p < ,05	0,953761	0,065546
Tot 4	46	0,291267	p < ,01	p < ,01	0,847196	0,000026
Tot 5	46	0,112435	p > .20	p < ,20	0,960832	0,123511

9.11.4. Condition expérimentale analogie proche

Tableau 32 : test de Shapiro-Wilk au sein du groupe analogie proche et ce sur les 5 variables

Variable	Condition expérimentale=An. Pr. Tests de Normalité (Données recueillies sans mortalité)					
	N	D max	K-S p	Lillief. p	W	p
Tot 1	47	0,135439	p > .20	p < ,05	0,967565	0,213600
Tot 2	47	0,125049	p > .20	p < ,10	0,951471	0,049454
Tot 3	47	0,159387	p < ,20	p < ,01	0,906690	0,001186
Tot 4	47	0,214595	p < ,05	p < ,01	0,875452	0,000130
Tot 5	47	0,114255	p > .20	p < ,15	0,971518	0,302280

9.11.5. Condition expérimentale analogie médiane

Tableau 33 : test de Shapiro-Wilk au sein du groupe analogie médiane et ce sur les 5 variables

Condition expérimentale=An. M. Tests de Normalité (Données recueillies sans mortalité)						
Variable	N	D max	K-S p	Lillief. p	W	p
Tot 1	43	0,113932	p > .20	p < ,20	0,970941	0,340532
Tot 2	43	0,183543	p < ,15	p < ,01	0,883264	0,000404
Tot 3	43	0,141054	p > .20	p < ,05	0,952746	0,075124
Tot 4	43	0,213236	p < ,05	p < ,01	0,853631	0,000065
Tot 5	43	0,107996	p > .20	p > .20	0,970922	0,340027

9.11.6. Condition expérimentale analogie distale

Tableau 34 : test de Shapiro-Wilk au sein du groupe analogie distale et ce sur les 5 variables

Condition expérimentale=An. D. Tests de Normalité (Données recueillies sans mortalité)						
Variable	N	D max	K-S p	Lillief. p	W	p
Tot 1	44	0,111346	p > .20	p < ,20	0,967416	0,244559
Tot 2	44	0,139244	p > .20	p < ,05	0,952848	0,070258
Tot 3	44	0,173896	p < ,15	p < ,01	0,873419	0,000183
Tot 4	44	0,243835	p < ,05	p < ,01	0,872137	0,000168
Tot 5	44	0,146508	p > .20	p < ,05	0,963254	0,172051

9.12. Annexe n°12 – Résultats des tests de Kruskal-Wallis et des tests sur les Médianes

9.12.1. Variable mémorisation

9.12.1.1. ANOVA de Kruskal-Wallis

Tableau 35 : ANOVA de Kruskal-Wallis sur la variable mémorisation

		ANOVA de Kruskal-Wallis par Rangs; Tot 1 (Données recueillies sans mortalité) Var. indépendante (classement) : Condition expérimentale Test de Kruskal-Wallis : H (4, N= 221) =9,590256 p =,047				
Dépend. : Tot 1	Code	N Actifs	Somme Rangs	Moyenne Rang		
Exemple	1	46	3960,500	86,0978		
An. Pr.	2	47	5468,500	116,3511		
An. M.	3	43	4816,000	112,0000		
An. D.	4	44	5447,500	123,8068		
Reformulation	5	41	4838,500	118,0122		

9.12.1.2. Test des Médianes

Tableau 36 : Test des Médianes sur la variable mémorisation

		Test Médiane, Méd. Globale = 4,50000; Tot 1 (Données recueillies sans mortalité) Var. indépendante (classement) : Condition expérimentale Chi-Deux = 3,791675 dl = 4 p = ,4349				
Dépendant : Tot 1	Exemple	An. Pr.	An. M.	An. D.	Reformulation	Total
<= Médiane : observ.	30,00000	23,00000	21,00000	22,00000	20,00000	116,0000
théorique	24,14480	24,66968	22,57014	23,09502	21,52036	
obs.-thé.	5,85520	-1,66968	-1,57014	-1,09502	-1,52036	
> Médiane : observée	16,00000	24,00000	22,00000	22,00000	21,00000	105,0000
théorique	21,85520	22,33032	20,42986	20,90498	19,47964	
obs.-thé.	-5,85520	1,66968	1,57014	1,09502	1,52036	
Total : observé	46,00000	47,00000	43,00000	44,00000	41,00000	221,0000

9.12.1.3. Test Post Hoc

Tableau 37 : comparaison multiple des rangs moyens de tous les groupes en valeur p

		Ensemble des Groupes Valeurs p des Comp. Multiples (bilatéral) ; Tot 1 (Données recueillies sans mortalité) Var. indépendante (classement) : Condition expérimentale Test de Kruskal-Wallis : H (4, N= 221) =9,590256 p =,047				
Dépend. : Tot 1	Exemple R:86,098	An. Pr. R:116,35	An. M. R:112,00	An. D. R:123,81	Reformulation R:118,01	
Exemple		0,225326	0,561678	0,051626	0,201314	
An. Pr.	0,225326		1,000000	1,000000	1,000000	
An. M.	0,561678	1,000000		1,000000	1,000000	
An. D.	0,051626	1,000000	1,000000		1,000000	
Reformulation	0,201314	1,000000	1,000000	1,000000		

9.12.2. Variable compréhension proche

9.12.2.1. ANOVA de Kruskal-Wallis

Tableau 38 : ANOVA de Kruskal-Wallis sur la variable compréhension proche

		ANOVA de Kruskal-Wallis par Rangs; Tot 2 (Données recueillies sans mortalité) Var. indépendante (classement) : Condition expérimentale Test de Kruskal-Wallis : $H(4, N=221) = 7,774178$ $p = ,100$			
Dépend. :	Code	N	Somme	Moyenne	
Tot 2	Actifs	Rangs	Rang		
Exemple	1	46	4529,000	98,4565	
An. Pr.	2	47	5383,500	114,5426	
An. M.	3	43	5005,500	116,4070	
An. D.	4	44	5659,000	128,6136	
Reformulation	5	41	3954,000	96,4390	

9.12.2.2. Test des Médianes

Tableau 39 : Test des Médianes sur la variable compréhension proche

		Test Médiane, Méd. Globale = 6,00000; Tot 2 (Données recueillies sans mortalité) Var. indépendante (classement) : Condition expérimentale Chi-Deux = 3,338859 dl = 4 $p = ,5028$				
Dépendant :	Exemple	An. Pr.	An. M.	An. D.	Reformulation	Total
Tot 2						
<= Médiane : observ.	25,00000	22,00000	20,00000	22,00000	26,00000	115,0000
théorique	23,93665	24,45701	22,37557	22,89593	21,33484	
obs.-thé.	1,06335	-2,45701	-2,37557	-0,89593	4,66516	
> Médiane : observée	21,00000	25,00000	23,00000	22,00000	15,00000	106,0000
théorique	22,06335	22,54299	20,62443	21,10407	19,66516	
obs.-thé.	-1,06335	2,45701	2,37557	0,89593	-4,66516	
Total : observé	46,00000	47,00000	43,00000	44,00000	41,00000	221,0000

9.12.2.3. Test Post Hoc

Tableau 40 : comparaison multiple des rangs moyens de tous les groupes en valeur p

		Ensemble des Groupes Valeurs p des Comp. Multiples (bilatéral) ; Tot 2 (Données recueillies sans mortalité) Var. indépendante (classement) : Condition expérimentale Test de Kruskal-Wallis : $H(4, N=221) = 7,774178$ $p = ,100$				
Dépend. :	Exemple	An. Pr.	An. M.	An. D.	Reformulation	
Tot 2	R:98,457	R:114,54	R:116,41	R:128,61	R:96,439	
Exemple		1,000000	1,000000	0,253113	1,000000	
An. Pr.	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	
An. M.	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	
An. D.	0,253113	1,000000	1,000000		0,204416	
Reformulation	1,000000	1,000000	1,000000	0,204416		

9.12.3. Variable compréhension médiane

9.12.3.1. ANOVA de Kruskal-Wallis

Tableau 41 : ANOVA de Kruskal-Wallis sur la variable compréhension médiane

		ANOVA de Kruskal-Wallis par Rangs; Tot 3 (Données recueillies sans mortalité) Var. indépendante (classement) : Condition expérimentale Test de Kruskal-Wallis : H (4, N= 221) =5,277642 p =,260			
Dépend. : Tot 3	Code	N Actifs	Somme Rangs	Moyenne Rang	
Exemple	1	46	4468,500	97,1413	
An. Pr.	2	47	5791,000	123,2128	
An. M.	3	43	4931,500	114,6860	
An. D.	4	44	5160,000	117,2727	
Reformulation	5	41	4180,000	101,9512	

9.12.3.2. Test des Médianes

Tableau 42 : Test des Médianes sur la variable compréhension médiane

		Test Médiane, Méd. Globale = 6,75000; Tot 3 (Données recueillies sans mortalité) Var. indépendante (classement) : Condition expérimentale Chi-Deux = 2,920087 dl = 4 p = ,5713					
Dépendant : Tot 3		Exemple	An. Pr.	An. M.	An. D.	Reformulation	Total
<= Médiane : observ.		28,00000	22,00000	22,00000	21,00000	24,00000	117,0000
	théorique	24,35294	24,88235	22,76471	23,29412	21,70588	
	obs.-thé.	3,64706	-2,88235	-0,76471	-2,29412	2,29412	
> Médiane : observée		18,00000	25,00000	21,00000	23,00000	17,00000	104,0000
	théorique	21,64706	22,11765	20,23529	20,70588	19,29412	
	obs.-thé.	-3,64706	2,88235	0,76471	2,29412	-2,29412	
Total : observé		46,00000	47,00000	43,00000	44,00000	41,00000	221,0000

9.12.3.3. Test Post Hoc

Tableau 43 : comparaison multiple des rangs moyens de tous les groupes en valeur p

		Ensemble des Groupes Valeurs p des Comp. Multiples (bilatéral) ; Tot 3 (Données recueillies sans mortalité) Var. indépendante (classement) : Condition expérimentale Test de Kruskal-Wallis : H (4, N= 221) =5,277642 p =,260				
Dépend. : Tot 3		Exemple R:97,141	An. Pr. R:123,21	An. M. R:114,69	An. D. R:117,27	Reformulation R:101,95
Exemple			0,493058	1,000000	1,000000	1,000000
An. Pr.	0,493058			1,000000	1,000000	1,000000
An. M.	1,000000	1,000000			1,000000	1,000000
An. D.	1,000000	1,000000	1,000000			1,000000
Reformulation	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		

9.12.4. Variable compréhension distale

9.12.4.1. ANOVA de Kruskal-Wallis

Tableau 44 : ANOVA de Kruskal-Wallis sur la variable compréhension distale

		ANOVA de Kruskal-Wallis par Rangs; Tot 4 (Données recueillies sans mortalité) Var. indépendante (classement) : Condition expérimentale Test de Kruskal-Wallis : H (4, N= 221) =2,299309 p =,680			
Dépend. :	Code	N	Somme	Moyenne	
Tot 4		Actifs	Rangs	Rang	
Exemple	1	46	5221,000	113,5000	
An. Pr.	2	47	5242,500	111,5426	
An. M.	3	43	4907,500	114,1279	
An. D.	4	44	5137,500	116,7614	
Reformulation	5	41	4022,500	98,1098	

9.12.4.2. Test des Médianes

Tableau 45 : Test des Médianes sur la variable compréhension distale

		Test Médiane, Méd. Globale = 5,00000; Tot 4 (Données recueillies sans mortalité) Var. indépendante (classement) : Condition expérimentale Chi-Deux = ,4660670 dl = 4 p = ,9767					
Dépendant :		Exemple	An. Pr.	An. M.	An. D.	Reformulation	Total
Tot 4							
<= Médiane : observ.		31,00000	30,00000	27,00000	28,00000	28,00000	144,0000
théorique		29,97285	30,62443	28,01810	28,66968	26,71493	
obs -thé.		1,02715	-0,62443	-1,01810	-0,66968	1,28507	
> Médiane : observée		15,00000	17,00000	16,00000	16,00000	13,00000	77,0000
théorique		16,02715	16,37557	14,98190	15,33032	14,28507	
obs -thé.		-1,02715	0,62443	1,01810	0,66968	-1,28507	
Total : observé		46,00000	47,00000	43,00000	44,00000	41,00000	221,0000

9.12.4.3. Test Post Hoc

Tableau 46 : comparaison multiple des rangs moyens de tous les groupes en valeur p

		Ensemble des Groupes Valeurs p des Comp. Multiples (bilatéral) ; Tot 4 (Données recueillies sans mortalité) Var. indépendante (classement) : Condition expérimentale Test de Kruskal-Wallis : H (4, N= 221) =2,299309 p =,680				
Dépend. :		Exemple	An. Pr.	An. M.	An. D.	Reformulation
Tot 4		R:113,50	R:111,54	R:114,13	R:116,76	R:98,110
Exemple			1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
An. Pr.		1,000000		1,000000	1,000000	1,000000
An. M.		1,000000	1,000000		1,000000	1,000000
An. D.		1,000000	1,000000	1,000000		1,000000
Reformulation		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	

9.12.5. Variable transfert

9.12.5.1. ANOVA de Kruskal-Wallis

Tableau 47 : ANOVA de Kruskal-Wallis sur la variable transfert

ANOVA de Kruskal-Wallis par Rangs; Tot 5 (Données recueillies sans mortalité) Var. indépendante (classement) : Condition expérimentale Test de Kruskal-Wallis : H (4, N= 221) =7,549498 p =,109					
Dépend. : Tot 5	Code	N Actifs	Somme Rangs	Moyenne Rang	
Exemple	1	46	4839,000	105,1957	
An. Pr.	2	47	5242,000	111,5319	
An. M.	3	43	4848,000	112,7442	
An. D.	4	44	5750,000	130,6818	
Reformulation	5	41	3852,000	93,9512	

9.12.5.2. Test des Médianes

Tableau 48 : Test des Médianes sur la variable transfert

Test Médiane, Méd. Globale = 3,77000; Tot 5 (Données recueillies sans mortalité) Var. indépendante (classement) : Condition expérimentale Chi-Deux = 9,530986 dl = 4 p = ,0491						
Dépendant : Tot 5	Exemple	An. Pr.	An. M.	An. D.	Reformulation	Total
<= Médiane : observ.	27,00000	25,00000	19,00000	15,00000	26,00000	112,0000
théorique	23,31222	23,81900	21,79186	22,29864	20,77828	
obs.-thé.	3,68778	1,18100	-2,79186	-7,29864	5,22172	
> Médiane : observée	19,00000	22,00000	24,00000	29,00000	15,00000	109,0000
théorique	22,68778	23,18100	21,20814	21,70136	20,22172	
obs.-thé.	-3,68778	-1,18100	2,79186	7,29864	-5,22172	
Total : observé	46,00000	47,00000	43,00000	44,00000	41,00000	221,0000

9.12.5.3. Test Post Hoc

Tableau 49 : comparaison multiple des rangs moyens de tous les groupes en valeur p

Ensemble des Groupes Valeurs p des Comp. Multiples (bilatéral) ; Tot 5 (Données recueillies sans mortalité) Var. indépendante (classement) : Condition expérimentale Test de Kruskal-Wallis : H (4, N= 221) =7,549498 p =,109					
Dépend. : Tot 5	Exemple R:105,20	An. Pr. R:111,53	An. M. R:112,74	An. D. R:130,68	Reformulation R:93,951
Exemple		1,000000	1,000000	0,587319	1,000000
An. Pr.	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000
An. M.	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000
An. D.	0,587319	1,000000	1,000000		0,081355
Reformulation	1,000000	1,000000	1,000000	0,081355	

9.13. Annexe n°13 – Résultats des tests paramétriques

9.13.1. Légende

Tot 1 = variable mémorisation.

Tot 2 = variable compréhension proche.

Tot 3 = variable compréhension médiane.

Tot 4 = variable compréhension distale.

Tot 5 = variable transfert.

9.13.2. Test de Levene d'Homogénéité des variances

Tableau 50 : Test de Levene d'Homogénéité des Variances

Test de Levene d'Homogénéité des Variances (Données recueillies sans mortalité)				
Effet : "Condition expérimentale"				
Degrés de liberté de tous les F : 4, 216				
	MC Effet	MC Erreur	F	p
Tot 1	1,609313	1,541316	1,044116	0,385347
Tot 2	1,489161	1,366798	1,089525	0,362611
Tot 3	0,306792	1,783901	0,171978	0,952558
Tot 5	0,421355	1,624281	0,259410	0,903681

9.13.3. AVOVA Simples à un facteur

Tableau 51 : ANOVA simple à un facteur sur les 4 variables dépendantes concernées

Var. Dépendante Variable	Test de SC Modèle Complet vs. SC Résidus (Données recueillies sans mortalité)										
	Multiple R	Multiple R ²	Ajusté R ²	SC Modèle	dl Modèle	MC Modèle	SC Résidus	dl Résidus	MC Résidus	F	p
Tot 1	0,203549	0,041432	0,023681	53,09340	4	13,27335	1228,360	216	5,686850	2,334042	0,056706
Tot 2	0,212521	0,045165	0,027483	33,36582	4	8,34145	705,385	216	3,265673	2,554284	0,039946
Tot 3	0,134837	0,018181	-0,000001	19,60499	4	4,90125	1058,710	216	4,901435	0,999962	0,408510
Tot 5	0,184577	0,034069	0,016181	35,35028	4	8,83757	1002,265	216	4,640118	1,904600	0,110760

9.13.4. Tests post-hoc sur la variable mémorisation

9.13.4.1. Test de Newman-Keuls

Tableau 52 : Test de Newman-Keuls sur la variable mémorisation

Test Newman-Keuls ; variable Tot 1 (Données recueillies sans mortalité)					
Probabilités Approximatives des Tests Post Hoc					
Erreur : MCE Inter = 5,6869, dl = 216,00					
N°Cellu.	{1} 3,7772	{2} 4,8564	{3} 4,6802	{4} 5,1591	{5} 4,9939
1		0,084830	0,075385	0,050946	0,077864
2	0,084830		0,728722	0,822247	0,786582
3	0,075385	0,728722		0,781693	0,810475
4	0,050946	0,822247	0,781693		0,744996
5	0,077864	0,786582	0,810475	0,744996	

9.13.4.2. Test de Tukey HSD pour N différents

Tableau 53 : Test de Tukey HSD pour N différents sur la variable mémorisation

HSD pour N Différents ; var. Tot 1 (Données recueillies sans mortalité) Probabilités Approximatives des Tests Post Hoc Erreur : MCE Inter = 5,6869, dl = 216,00						
N°Cellu.	Condition expérimentale	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
		3,7772	4,8564	4,6802	5,1591	4,9939
1	Exemple		0,190978	0,399672	0,051361	0,141562
2	An. Pr.	0,190978		0,997048	0,975822	0,998980
3	An. M.	0,399672	0,997048		0,884916	0,975798
4	An. D.	0,051361	0,975822	0,884916		0,997907
5	Reformulation	0,141562	0,998980	0,975798	0,997907	

9.13.5. Tests post-hoc sur la variable compréhension proche

9.13.5.1. Test de Newman-Keuls

Tableau 54 : Test de Newman-Keuls sur la variable compréhension proche

Test Newman-Keuls ; variable Tot 2 (Données recueillies sans mortalité) Probabilités Approximatives des Tests Post Hoc Erreur : MCE Inter = 3,2657, dl = 216,00						
N°Cellu.	Condition expérimentale	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
		5,5326	6,0638	6,0581	6,5682	5,5244
1	Exemple		0,351251	0,172098	0,035898	0,982977
2	An. Pr.	0,351251		0,988213	0,190038	0,498258
3	An. M.	0,172098	0,988213		0,381064	0,347776
4	An. D.	0,035898	0,190038	0,381064		0,052197
5	Reformulation	0,982977	0,498258	0,347776	0,052197	

9.13.5.2. Test de Tukey HSD pour N différents

Tableau 55 : Test de Tukey HSD pour N différents sur la variable compréhension proche

HSD pour N Différents ; var. Tot 2 (Données recueillies sans mortalité) Probabilités Approximatives des Tests Post Hoc Erreur : MCE Inter = 3,2657, dl = 216,00						
N°Cellu.	Condition expérimentale	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
		5,5326	6,0638	6,0581	6,5682	5,5244
1	Exemple		0,621329	0,660759	0,055750	1,000000
2	An. Pr.	0,621329		1,000000	0,685591	0,658776
3	An. M.	0,660759	1,000000		0,685816	0,667829
4	An. D.	0,055750	0,685591	0,685816		0,067606
5	Reformulation	1,000000	0,658776	0,667829	0,067606	

9.14. Annexe n°14 – Tests U de Man-Whitney

9.14.1. Légende

Tot 1 = variable mémorisation.

Tot 2 = variable compréhension proche.

Tot 3 = variable compréhension médiane.

Tot 4 = variable compréhension distale.

Tot 5 = variable transfert.

9.14.2. Exemple vs. Reformulation

Tableau 56 : Test U de Man-Whitney entre la condition exemple et la condition reformulation

Test U de Mann-Whitney (+ correction de continuité (Données recueillies sans mortalité)) Par var. Condition expérimentale Tests significatifs marqués à $p < ,05000$										
variable	SommeRgs Exemple	SommeRgs Reformulation	U	Z	valeur p	Z ajusté	valeur p	N Actif Exemple	N Actif Reformulation	2*(1-p) p exact
Tot 1	1776,000	2052,000	695,0000	-2,10452	0,035334	-2,10640	0,035170	46	41	0,034866
Tot 2	2041,500	1786,500	925,5000	0,14455	0,885064	0,14542	0,884379	46	41	0,882317
Tot 3	1966,000	1862,000	885,0000	-0,48893	0,624892	-0,48967	0,624370	46	41	0,626560
Tot 4	2167,000	1661,000	800,0000	1,21169	0,225630	1,24033	0,214855	46	41	0,226882
Tot 5	2118,500	1709,500	848,5000	0,79929	0,424121	0,80298	0,421990	46	41	0,423574

9.14.3. Exemple vs. Analogie distale

Tableau 57 : Test U de Man-Whitney entre la condition exemple et la condition analogie distale

Test U de Mann-Whitney (+ correction de continuité (Données recueillies sans mortalité)) Par var. Condition expérimentale Tests significatifs marqués à $p < ,05000$										
variable	SommeRgs Exemple	SommeRgs An. D.	U	Z	valeur p	Z ajusté	valeur p	N Actif Exemple	N Actif An. D.	2*(1-p) p exact
Tot 1	1742,500	2352,500	661,5000	-2,82509	0,004727	-2,82768	0,004689	46	44	0,004316
Tot 2	1826,500	2268,500	745,5000	-2,14707	0,031788	-2,15906	0,030846	46	44	0,030994
Tot 3	1900,500	2194,500	819,5000	-1,54977	0,121199	-1,55225	0,120604	46	44	0,120602
Tot 4	2059,000	2036,000	978,0000	-0,27040	0,786851	-0,27786	0,781123	46	44	0,787873
Tot 5	1866,000	2229,000	785,0000	-1,82824	0,067515	-1,83744	0,066146	46	44	0,067353

9.14.4. Exemple vs. Analogie médiane

Tableau 58 : Test U de Man-Whitney entre la condition exemple et la condition analogie médiane

Test U de Mann-Whitney (+ correction de continuité (Données recueillies sans mortalité)) Par var. Condition expérimentale Tests significatifs marqués à $p < ,05000$										
variable	SommeRgs Exemple	SommeRgs An. M.	U	Z	valeur p	Z ajusté	valeur p	N Actif Exemple	N Actif An. M.	2*(1-p) p exact
Tot 1	1832,500	2172,500	751,5000	-1,94583	0,051676	-1,94819	0,051393	46	43	0,050861
Tot 2	1908,000	2097,000	827,0000	-1,32595	0,184856	-1,33602	0,181545	46	43	0,185793
Tot 3	1916,000	2089,000	835,0000	-1,26027	0,207572	-1,26180	0,207020	46	43	0,208673
Tot 4	2059,500	1945,500	978,5000	-0,08210	0,934565	-0,08410	0,932976	46	43	0,931650
Tot 5	2000,000	2005,000	919,0000	-0,57061	0,568263	-0,57303	0,566625	46	43	0,570024

9.14.5. Exemple vs. Analogie proche

Tableau 59 : Test U de Man-Whitney entre la condition exemple et la condition analogie proche

Test U de Mann-Whitney (+ correction de continuité (Données recueillies sans mortalité)) Par var. Condition expérimentale Tests significatifs marqués à $p < .05000$										
variable	SommeRgs Exemple	SommeRgs An. Pr.	U	Z	valeur p	Z ajusté	valeur p	N Actif Exemple	N Actif An. Pr.	2*(1-p) p exact
Tot 1	1852,500	2518,500	771,500	-2,37442	0,017577	-2,37688	0,017460	46	47	0,016900
Tot 2	1996,000	2375,000	915,000	-1,27174	0,203468	-1,27927	0,200803	46	47	0,204493
Tot 3	1929,000	2442,000	848,000	-1,78658	0,074007	-1,79133	0,073242	46	47	0,073915
Tot 4	2178,500	2192,500	1064,500	0,12295	0,902149	0,12583	0,899868	46	47	0,899593
Tot 5	2097,500	2273,500	1016,500	-0,49179	0,622869	-0,49472	0,620796	46	47	0,621720

9.14.6. Reformulation vs. Analogie distale

Tableau 60 : Test U de Man-Whitney entre la condition reformulation et la condition analogie distale

Test U de Mann-Whitney (+ correction de continuité (Données recueillies sans mortalité)) Par var. Condition expérimentale Tests significatifs marqués à $p < .05000$										
variable	SommeRgs Reformulation	SommeRgs An. D.	U	Z	valeur p	Z ajusté	valeur p	N Actif Reformulation	N Actif An. D.	2*(1-p) p exact
Tot 1	1737,500	1917,500	876,5000	-0,21987	0,825974	-0,22018	0,825735	41	44	0,823466
Tot 2	1505,500	2149,500	644,5000	-2,26025	0,023806	-2,27915	0,022659	41	44	0,022995
Tot 3	1629,500	2025,500	768,5000	-1,16970	0,242122	-1,17275	0,240898	41	44	0,241727
Tot 4	1610,000	2045,000	749,0000	-1,34120	0,179857	-1,37140	0,170251	41	44	0,180799
Tot 5	1485,000	2170,000	624,0000	-2,44054	0,014666	-2,44738	0,014391	41	44	0,014132

9.14.7. Reformulation vs. Analogie médiane

Tableau 61 : Test U de Man-Whitney entre la condition reformulation et la condition analogie médiane

Test U de Mann-Whitney (+ correction de continuité (Données recueillies sans mortalité)) Par var. Condition expérimentale Tests significatifs marqués à $p < .05000$										
variable	SommeRgs Reformulation	SommeRgs An. M.	U	Z	valeur p	Z ajusté	valeur p	N Actif Reformulation	N Actif An. M.	2*(1-p) p exact
Tot 1	1786,500	1783,500	837,5000	0,38926	0,697081	0,38973	0,696735	41	43	0,695263
Tot 2	1575,500	1994,500	714,5000	-1,48994	0,136241	-1,50268	0,132922	41	43	0,135614
Tot 3	1648,500	1921,500	787,5000	-0,83669	0,402765	-0,83804	0,402009	41	43	0,402208
Tot 4	1623,500	1946,500	762,5000	-1,06041	0,288959	-1,08744	0,276842	41	43	0,288561
Tot 5	1579,500	1990,500	718,5000	-1,45415	0,145906	-1,45862	0,144670	41	43	0,145310

9.14.8. Reformulation vs. Analogie proche

Tableau 62 : Test U de Man-Whitney entre la condition reformulation et la condition analogie proche

Test U de Mann-Whitney (+ correction de continuité (Données recueillies sans mortalité)) Par var. Condition expérimentale Tests significatifs marqués à $p < .05000$										
variable	SommeRgs Reformulation	SommeRgs An. Pr.	U	Z	valeur p	Z ajusté	valeur p	N Actif Reformulation	N Actif An. Pr.	2*(1-p) p exact
Tot 1	1845,500	2070,500	942,5000	0,17148	0,863848	0,17169	0,863679	41	47	0,861268
Tot 2	1669,500	2246,500	808,5000	-1,29236	0,196234	-1,29920	0,193876	41	47	0,195818
Tot 3	1623,000	2293,000	762,0000	-1,68132	0,092701	-1,68470	0,092047	41	47	0,092800
Tot 4	1711,000	2205,000	850,0000	-0,94522	0,344547	-0,96745	0,333319	41	47	0,346313
Tot 5	1661,000	2255,000	800,0000	-1,36346	0,172739	-1,36817	0,171259	41	47	0,173595

9.14.9. Analogie distale vs. Analogie médiane

Tableau 63 : Test U de Man-Whitney entre la condition analogie distale et la condition analogie médiane

Test U de Mann-Whitney (+ correction de continuité (Données recueillies sans mortalité))										
Par var. Condition expérimentale										
Tests significatifs marqués à $p < 0,05000$										
variable	SommeRgs An. D.	SommeRgs An. M.	U	Z	valeur p	Z ajusté	valeur p	N Actif An. D.	N Actif An. M.	2*(1-p) p exact
Tot 1	2040,500	1787,500	841,5000	0,882921	0,377279	0,884026	0,376683	44	43	0,376835
Tot 2	2039,000	1789,000	843,0000	0,870187	0,384199	0,877799	0,380053	44	43	0,386060
Tot 3	1955,000	1873,000	927,0000	0,157058	0,875199	0,157332	0,874984	44	43	0,875838
Tot 4	1955,000	1873,000	927,0000	0,157058	0,875199	0,160621	0,872392	44	43	0,875838
Tot 5	2105,000	1723,000	777,0000	1,430503	0,152574	1,434837	0,151335	44	43	0,153262

9.14.10. Analogie distale vs. Analogie proche

Tableau 64 : Test U de Man-Whitney entre la condition analogie distale et la condition analogie proche

Test U de Mann-Whitney (+ correction de continuité (Données recueillies sans mortalité))										
Par var. Condition expérimentale										
Tests significatifs marqués à $p < 0,05000$										
variable	SommeRgs An. D.	SommeRgs An. Pr.	U	Z	valeur p	Z ajusté	valeur p	N Actif An. D.	N Actif An. Pr.	2*(1-p) p exact
Tot 1	2107,000	2079,000	951,0000	0,655202	0,512338	0,656196	0,511699	44	47	0,514144
Tot 2	2172,000	2014,000	886,0000	1,171422	0,241430	1,177618	0,238950	44	47	0,242714
Tot 3	1955,000	2231,000	965,0000	-0,544016	0,586431	-0,545087	0,585694	44	47	0,588115
Tot 4	2071,500	2114,500	986,5000	0,373267	0,708950	0,381338	0,702952	44	47	0,707328
Tot 5	2216,000	1970,000	842,0000	1,520863	0,128295	1,527507	0,126636	44	47	0,128737

9.14.11. Analogie médiane vs. Analogie proche

Tableau 65 : Test U de Man-Whitney entre la condition analogie médiane et la condition analogie proche

Test U de Mann-Whitney (+ correction de continuité (Données recueillies sans mortalité))										
Par var. Condition expérimentale										
Tests significatifs marqués à $p < 0,05000$										
variable	SommeRgs An. M.	SommeRgs An. Pr.	U	Z	valeur p	Z ajusté	valeur p	N Actif An. M.	N Actif An. Pr.	2*(1-p) p exact
Tot 1	1910,500	2184,500	964,500	-0,367535	0,713221	-0,368100	0,712799	43	47	0,711543
Tot 2	1963,000	2132,000	1004,000	0,048466	0,961345	0,048826	0,961058	43	47	0,961539
Tot 3	1886,000	2209,000	940,000	-0,565438	0,571776	-0,566467	0,571077	43	47	0,573513
Tot 4	1980,500	2114,500	986,500	0,189826	0,849446	0,194176	0,846038	43	47	0,847038
Tot 5	1967,500	2127,500	999,500	0,084816	0,932408	0,085120	0,932166	43	47	0,929553

9.15. Annexe n°15 – Analyse de l'effet d'interaction

9.15.1. ANOVA factorielle – variable sciences faibles vs. sciences fortes

Tableau 66 : Résultats de l'ANOVA factorielle avec la variable dichotomique sciences faibles vs. sciences fortes

Effet	Tests Multivariés de Significativité (Données recueillies sans mortalité) Paramétrisation sigma-restreint Décomposition efficace de l'hypothèse					
	Test	Valeur	F	Effet dl	Erreur dl	p
Ord.Orig.	Wilk	0,064898	749,2624	4	208,0000	0,000000
Condition expérimentale	Wilk	0,892712	1,5046	16	636,0881	0,091967
Sciences	Wilk	0,860670	8,4180	4	208,0000	0,000003
Condition expérimentale*Sciences	Wilk	0,921363	1,0802	16	636,0881	0,370273

9.15.2. ANOVA factorielle – variable nombre d'heures de sciences

Tableau 67 : Résultats de l'ANOVA factorielle avec la variable nombre d'heures de sciences

Effet	Tests Multivariés de Significativité (Données recueillies sans mortalité) Paramétrisation sigma-restreint Décomposition efficace de l'hypothèse					
	Test	Valeur	F	Effet dl	Erreur dl	p
Ord.Orig.	Wilk	1,000000		0		
Sciences (nombre d'heures)	Wilk	0,844262	3,391952	10	384,0000	0,000290
Condition expérimentale	Wilk	0,929295	1,434037	10	384,0000	0,162978
Sciences (nombre d'heures)*Condition expérimentale	Wilk	0,722403	0,998648	65	911,3002	0,482027

9.15.3. ANOVA factorielle – variable sexe

Tableau 68 : Résultats de l'ANOVA factorielle avec la variable sexe

Effet	Tests Multivariés de Significativité (Données recueillies sans mortalité) Paramétrisation sigma-restreint Décomposition efficace de l'hypothèse					
	Test	Valeur	F	Effet dl	Erreur dl	p
Ord.Orig.	Wilk	0,061958	626,7926	5	207,0000	0,000000
Condition expérimentale	Wilk	0,851547	1,7066	20	687,4912	0,027907
Sexe	Wilk	0,940303	2,6284	5	207,0000	0,024994
Condition expérimentale*Sexe	Wilk	0,914355	0,9406	20	687,4912	0,534763

9.15.4. ANOVA factorielle – variable année d'étude

Tableau 69 : Résultats de l'ANOVA factorielle avec la variable année d'étude

Effet	Tests Multivariés de Significativité (Données recueillies sans mortalité) Paramétrisation sigma-restreint Décomposition efficace de l'hypothèse					
	Test	Valeur	F	Effet dl	Erreur dl	p
Ord.Orig.	Wilk	0,062361	622,4802	5	207,0000	0,000000
Condition expérimentale	Wilk	0,867139	1,5097	20	687,4912	0,070925
Année d'étude	Wilk	0,990214	0,4091	5	207,0000	0,842132
Condition expérimentale*Année d'étude	Wilk	0,902847	1,0757	20	687,4912	0,370463

9.15.5. ANOVA factorielle – variable établissement

Tableau 70 : Résultats de l'ANOVA factorielle avec la variable établissement

Effet	Tests Multivariés de Significativité (Données recueillies sans mortalité) Paramétrisation sigma-restreint Décomposition efficace de l'hypothèse					
	Test	Valeur	F	Effet dl	Erreur dl	p
Ord.Orig.	Wilk	0,060039	632,4987	5	202,0000	0,000000
Condition expérimentale	Wilk	0,843101	1,7714	20	670,9081	0,020191
Etablissement	Wilk	0,828310	3,9900	10	404,0000	0,000032
Condition expérimentale*Etablissement	Wilk	0,851383	0,8303	40	883,2921	0,764183

9.16. Annexe n°16 – exemple de questionnaires et grilles d'évaluation

9.16.1. ARHE2601

Informations personnelles	
Numéro de code : ARHE2601 2 premières lettres du prénom + 2 première lettres du nom + jour de naissance + mois de naissance	
Nom :	Prénom :
Sexe : <input checked="" type="checkbox"/> Homme <input type="checkbox"/> Femme	Age : 17
Type d'enseignement fréquenté : <input checked="" type="checkbox"/> Secondaire général <input type="checkbox"/> Secondaire technique <input type="checkbox"/> Secondaire professionnel	Année d'étude : 6 ^{ème} Options/orientation : S.C. Soc
Nom de l'établissement scolaire : Saint-Basile Andenne	

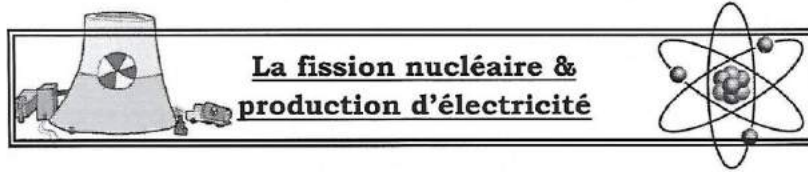
Quelques questions sur la fission nucléaire

Réponds à cette question après avoir lu le texte fourni avec ce questionnaire. Attention, il est important que tu répondes à cette question sans retourner à ton texte.

1. Retranscris tous les éléments relatifs à la fission et à l'énergie nucléaire dont tu te souviens après cette lecture ?

Des éléments chimiques tels que uranium 235, uranium 238 reçoivent un neutron qui cause l'atome en 2, c'est la fission. Ce phénomène produit beaucoup de l'énergie thermique (l'atome d'U cassé équivaut à 10000 de pétrole). En Belgique, il y a un centrale avec 3 boucles de refroidissement à Tihange. Il s'y produit la fission qui produit de l'E thermique qui va produire l'évaporation qui met en mouvement les turbines qui font tourner un alternateur et produit de l'E électrique.

Numéro de code : AR4E2601
(2 premières lettres du prénom + 2 premières lettres du nom + jour de naissance + mois)



La fission nucléaire est la réaction à l'origine de la production d'énergie nucléaire. En effet, une centrale nucléaire produit de l'énergie électrique sur base de combustibles nucléaires ; c'est-à-dire sur base d'atomes dont le noyau a la capacité de se casser sous l'action d'un neutron, et, ce faisant, de libérer une quantité considérable d'énergie. Ce fractionnement du noyau de l'atome nucléaire s'appelle la fission nucléaire. Les principaux atomes pouvant subir ces fissions sont l'uranium 233, l'uranium 235, le plutonium 239 et le plutonium 241.

Ce combustible nucléaire est placé au cœur du réacteur dans lequel il est bombardé par plusieurs neutrons se déplaçant à la vitesse adéquate. Quand un noyau d'uranium 235 absorbe un neutron, il se fractionne en deux fragments ; cette fission génère une grande quantité d'énergie sous forme de chaleur. Chaque fission produit à son tour des neutrons d'énergie élevée qui, en se déplaçant parmi les atomes d'uranium 235 peuvent provoquer la fission d'un nouveau noyau d'atome d'uranium 235 et générer ainsi des réactions en chaîne ; qu'on appelle cascade de fissions. Précisons, que dans nos centrales nucléaires cette réaction en chaîne est contrôlée afin d'éviter qu'elle prenne des proportions énormes et provoquent des incidents. La fission d'un gramme d'uranium produit plus de chaleur que la combustion d'une tonne de pétrole.



Le réacteur nucléaire récupère alors cette chaleur et l'utilise pour chauffer un fluide et produire de la vapeur. Cette vapeur passe ensuite par des turbines qui, en tournant, produisent de l'énergie mécanique transformée en énergie électrique par un alternateur. Pour finir, la vapeur passe par un condensateur afin de redevenir liquide ; ce liquide passera ensuite dans un conduit au sein de la tour de refroidissement dans laquelle il est refroidit avec de l'eau. Après avoir été refroidit, le fluide pourra être réutilisé.

Depuis 1968, trois centrales nucléaires, gérées par Electrabel, ont été construites à Thiange, une petite ville longeant la Meuse près de la ville de Huy. Les réacteurs fonctionnant sur base d'eau sous pression ; la chaleur (énergie thermique) dégagée par la fission nucléaire (énergie nucléaire) transforme de l'eau en vapeur qui entraîne des turbines (énergie mécanique). Un alternateur transforme alors l'énergie mécanique en électricité. Trois tours de refroidissement récupèrent alors l'eau sous pression, après qu'elle soit passée par un condensateur, la refroidissent afin de pouvoir la réutiliser. En moyenne, ces trois centrales nucléaires produisent ensemble environ 18 térawattheures.

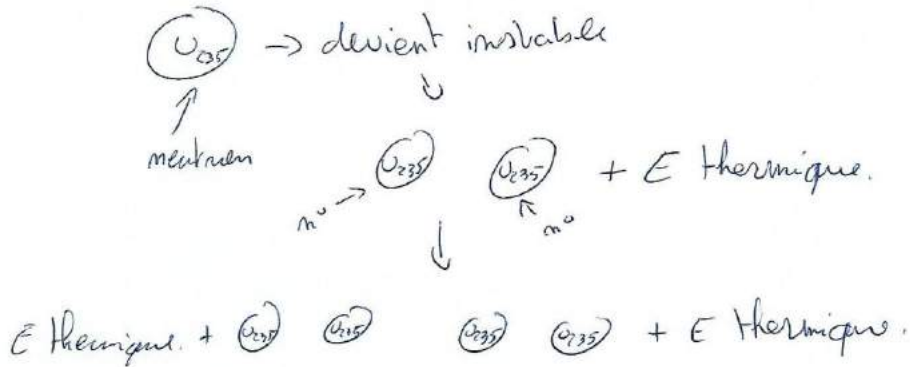


Numéro de code : ARHE2601

(2 premières lettres du prénom + 2 premières lettres du nom + jour de naissance + mois)

Pour les questions suivantes, tu peux réutiliser ton texte !

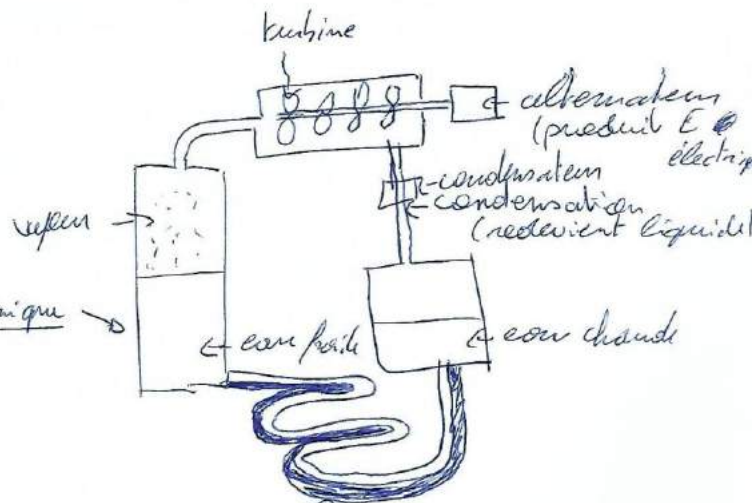
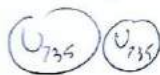
2. Schématise le principe de la cascade de fissions nucléaires ! N'oublie pas de nommer chaque composante de ton schéma.



3. Exemple les différentes étapes de la production électrique d'une centrale nucléaire en les schématisant. Nomme chaque composante de ton schéma et n'oublie pas d'organiser celui-ci chronologiquement.

1^{ère} étape

La fission

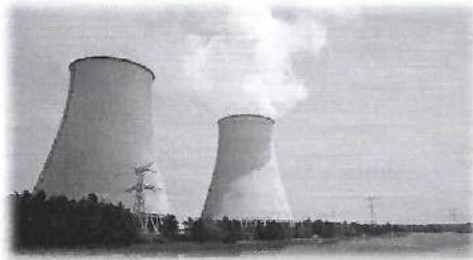


circuit de refroidissement (eau froide qui refroidit l'eau chaude)

Numéro de code : ARHE2601

(2 premières lettres du prénom + 2 premières lettres du nom + jour de naissance + mois)

4. L'image que nous avons tous des centrales nucléaires est leur(s) grande(s) tour(s) dégageant de la fumée, comme sur la photo ci-dessous. Selon toi, la fumée qui se dégage de ces tours est-elle polluante ? Explique le plus clairement possible ton avis.



la fumée qui sort des tours c'est de la vapeur d'eau donc elle n'est pas polluante. Il est possible qu'elle le soit légèrement car cette vapeur d'eau provient d'un élément chimique mais je ne pense pas qu'il soit mis en contact.

5. En sachant que le principe de base à l'origine des bombes nucléaires est la fission nucléaire. Peux-tu expliquer avec tes mots ce qui provoque l'explosion de ces bombes ?

L'explosion d'une bombe est donc l'ajout de neutrons mis en contact avec des atomes d'uranium \Rightarrow fission \Rightarrow explosion.

Grille d'évaluation

1. Retranscris tous les éléments relatifs à la fission et à l'énergie nucléaire dont tu te souviens après cette lecture ?

Item	Critère(s)	Pondération	Note
A	Atomes ou combustibles nucléaire (général 0.5 + 0.25 par spécifique)	1.5	0,75
B	Neutron	1	1
C	Bombardement	1	0
D	Fractionnement/fission	1	1
E	Réaction en chaîne	1	0
F	Énergie thermique issue des cascades de fission	2	2
G	Centrale récupère la chaleur issue de la fission	1	1
H	Production électrique sur base de l'énergie thermique (0.5 point pour énergie électrique + 1 si explicitation du passage entre énergie thermique, mécanique et électrique)	1.5	1
Total ... /10			6,75

2. Schématise le principe de la cascade de fissions nucléaires ! N'oublie pas de nommer chaque composante de ton schéma.

Item	Critère(s)	Pondération	Note
I	Justesse du schéma et complétude des étapes (nom - moitié + dessin moitié)		
	i.1. Uranium 235/atome nucléaire	1	1
	i.2. Neutron	1	1
	i.3. Bombardement	1	0,5
	i.4. Fragmentation/Fission	1	0,5
	i.5. Nucléides/fragments/atomes fils	1	0
	i.6. Cascade	3	1,5
	i.7. Production de chaleur	1	1
J	Chronologie	1	1
Total ... /10			6,5

3. Exemplifie les différentes étapes de la production électrique d'une centrale nucléaire en les schématisant. Nomme chaque composante de ton schéma et n'oublie pas d'organiser celui-ci chronologiquement.

Item	Critère(s)	Pondération	Note
K	Justesse du schéma et complétude des étapes (nom - moitié + dessin moitié) k.1. Combustible nucléaire	1	1

Page | 1

	k.2. Réacteur +fission	1	0,5
	k.3. Production de chaleur	1	1
	k.4. Fluide/eau	1	1
	k.5. Vapeur	1	1
	k.6. Turbine	1	1
	k.7. Alternateur	1	1
	k.8. Condensateur	1	1
	k.9. Retour du fluide/eau en début de cycle	1	1
L	Chronologie	1	1
		Total ... /10	9,5

4. L'image que nous avons tous des centrales nucléaires est leur(s) grande(s) tour(s) dégageant de la fumée, comme sur la photo ci-dessous. Selon toi, la fumée qui se dégage de ces tours est-elle polluante ? Explique le plus clairement possible ton avis.

Item	Critère(s)	Pondération	Note
M	Non, pas polluant	2	1
N	Quoi ? Vapeur d'eau	3	3
O	Provenance ? Tour de refroidissement	2	0
P	Fonction ? Refroidissement du réacteur/des fluides au sein du condensateur	2	0
Q	Pas de contact entre l'eau et la matière fissile/radioactive	1	0,5
		Total ... /10	4,5

5. En sachant que le principe de base à l'origine des bombes nucléaires est la fission nucléaire. Peux-tu expliquer avec tes mots ce qui provoque l'explosion de ces bombes ?

Item	Critère(s)	Pondération	Note
R	Assemblage des matériaux permettant la fission	2	2
S	Réaction en chaîne importante	3	1,5
T	Fission non contrôlée	2	0
U	Dégagement (libération) important d'énergie sur un court laps de temps => explosion	3	0
		Total ... /10	3,5

Informations personnelles**Numéro de code :** AULI1306

2 premières lettres du prénom + 2 première lettres du nom + jour de naissance + mois de naissance

Nom :**Prénom :****Sexe :**

- Homme
 Femme

Age : 16 ans**Type d'enseignement fréquenté :**

- Secondaire général
 Secondaire technique
 Secondaire professionnel

Année d'étude : 5^e**Options/orientation :****Nom de l'établissement scolaire :**

Lycée moderne
Athénée royal de Huy (3h/semaine de science)

Quelques questions sur la fission nucléaire

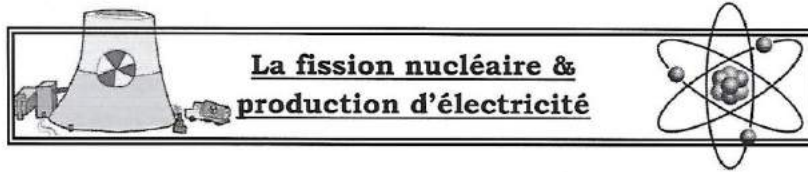
Réponds à cette question après avoir lu le texte fourni avec ce questionnaire. Attention, il est important que tu répondes à cette question sans retourner à ton texte.

1. Retranscris tous les éléments relatifs à la fission et à l'énergie nucléaire dont tu te souviens après cette lecture ?

Certains uranium (233 et 235) et d'autres molécules peuvent être utilisés pour produire une grande quantité de chaleur en les brisant au moyen de neutrons. Après qu'un noyau d'une des molécules a été brisé, il va se couper en deux et libérer d'autres neutrons qui entraîneront une réaction en chaîne. Dans la centrale nucléaire, on utilise cette source de chaleur pour transformer un liquide se trouvant dans des tuyaux en vapeur. Cette vapeur actionne des turbines qui produisent de l'électricité. Ensuite la vapeur revient à l'état liquide dans des tuyaux avant d'être refroidie.

Numéro de code : AUL14306

(2 premières lettres du prénom + 2 premières lettres du nom + jour de naissance + mois)



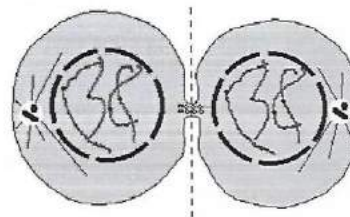
La fission nucléaire est la réaction à l'origine de la production d'énergie nucléaire. En effet, une centrale nucléaire produit de l'énergie électrique sur base de combustibles nucléaires ; c'est-à-dire sur base d'atomes dont le noyau a la capacité de se casser sous l'action d'un neutron, et, ce faisant, de libérer une quantité considérable d'énergie. Ce fractionnement du noyau de l'atome nucléaire s'appelle la fission nucléaire. Les principaux atomes pouvant subir ces fissions sont l'uranium 233, l'uranium 235, le plutonium 239 et le plutonium 241.

Ce combustible nucléaire est placé au cœur du réacteur dans lequel il est bombardé par plusieurs neutrons se déplaçant à la vitesse adéquate. Quand un noyau d'uranium 235 absorbe un neutron, il se fractionne en deux fragments ; cette fission génère une grande quantité d'énergie sous forme de chaleur. Chaque fission produit à son tour des neutrons d'énergie élevée qui, en se déplaçant parmi les atomes d'uranium 235 peuvent provoquer la fission d'un nouveau noyau d'atome d'uranium 235 et générer ainsi des réactions en chaîne ; qu'on appelle cascade de fissions. Précisions, que dans nos centrales nucléaires cette réaction en chaîne est contrôlée afin d'éviter qu'elle prenne des proportions énormes et provoquent des incidents. La fission d'un gramme d'uranium produit plus de chaleur que la combustion d'une tonne de pétrole.



Le réacteur nucléaire récupère alors cette chaleur et l'utilise pour chauffer un fluide et produire de la vapeur. Cette vapeur passe ensuite par des turbines qui, en tournant, produisent de l'énergie mécanique transformée en énergie électrique par un alternateur. Pour finir, la vapeur passe par un condensateur afin de redevenir liquide ; ce liquide passera ensuite dans un conduit au sein de la tour de refroidissement dans laquelle il est refroidit avec de l'eau. Après avoir été refroidit, le fluide pourra être réutilisé.

La fission nucléaire à l'origine de la production électrique des centrales nucléaires est comparable à la division cellulaire (ou scissiparité cellulaire). En effet, par la scissiparité, la cellule se reproduit de façon asexuée en se divisant en deux ; deux organismes identiques entre eux et identiques à l'organisme mère. Bombardés par un neutron, les atomes nucléaires se fragmentent également en deux morceaux ; néanmoins, contrairement à la division cellulaire, la fission nucléaire est à la base d'une réaction en chaîne produisant de la chaleur qui peut être utilisée par les centrales nucléaires pour produire de l'électricité.



Numéro de code : AVL1306

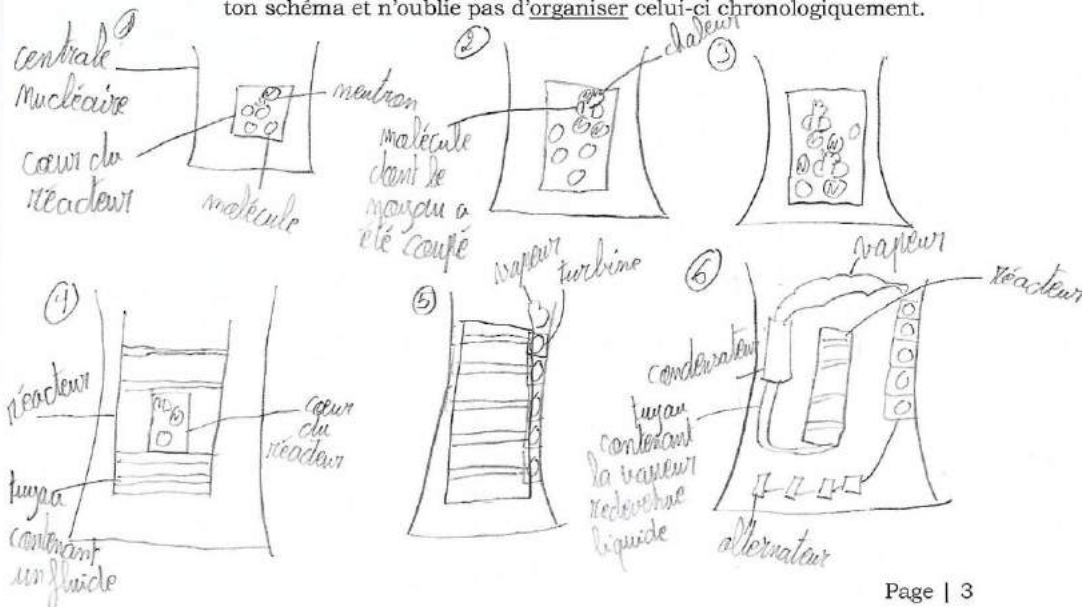
(2 premières lettres du prénom + 2 premières lettres du nom + jour de naissance + mois)

Pour les questions suivantes, tu peux réutiliser ton texte !

2. Schématise le principe de la cascade de fissions nucléaires ! N'oublie pas de nommer chaque composante de ton schéma.



3. Exemplifie les différentes étapes de la production électrique d'une centrale nucléaire en les schématisant. Nomme chaque composante de ton schéma et n'oublie pas d'organiser celui-ci chronologiquement.



Numéro de code : A U L I 1 3 0 6

(2 premières lettres du prénom + 2 premières lettres du nom + jour de naissance + mois)

4. L'image que nous avons tous des centrales nucléaires est leur(s) grande(s) tour(s) dégageant de la fumée, comme sur la photo ci-dessous. Selon toi, la fumée qui se dégage de ces tours est-elle polluante ? Explique le plus clairement possible ton avis.



Qui car cette fumée a été générée avec de la chaleur provenant d'uranium ou de plutonium

5. En sachant que le principe de base à l'origine des bombes nucléaires est la fission nucléaire. Peux-tu expliquer avec tes mots ce qui provoque l'explosion de ces bombes ?

Le choc dû à l'atterrissage des bombes est tellement violent qu'il casse les noyaux des molécules sans avoir besoin de neutrons

Grille d'évaluation

1. Retranscris tous les éléments relatifs à la fission et à l'énergie nucléaire dont tu te souviens après cette lecture ?

Item	Critère(s)	Pondération	Note
A	Atomes ou combustibles nucléaire (général 0.5 + 0.25 par spécifique)	1.5	1
B	Neutron	1	1
C	Bombardement	1	0
D	Fractionnement/fission	1	1
E	Réaction en chaîne	1	1
F	Énergie thermique issue des cascades de fission	2	2
G	Centrale récupère la chaleur issue de la fission	1	1
H	Production électrique sur base de l'énergie thermique (0.5 point pour énergie électrique + 1 si explicitation du passage entre énergie thermique, mécanique et électrique)	1.5	1
Total ... /10			8

2. Schématise le principe de la cascade de fissions nucléaires ! N'oublie pas de nommer chaque composante de ton schéma.

Item	Critère(s)	Pondération	Note
I	Justesse du schéma et complétude des étapes (nom - moitié + dessin moitié)		
	i.1. Uranium 235/atome nucléaire	1	0
	i.2. Neutron	1	1
	i.3. Bombardement	1	0,5
	i.4. Fragmentation/Fission	1	1
	i.5. Nucléides/fragments/atomes fils	1	0,5+0,5
	i.6. Cascade	3	1,5
	i.7. Production de chaleur	1	1
J	Chronologie	1	1
Total ... /10			7

3. Exemplifie les différentes étapes de la production électrique d'une centrale nucléaire en les schématisant. Nomme chaque composante de ton schéma et n'oublie pas d'organiser celui-ci chronologiquement.

Item	Critère(s)	Pondération	Note
K	Justesse du schéma et complétude des étapes (nom - moitié + dessin moitié)		
	k.1. Combustible nucléaire	1	1

Page | 1

	k.2. Réacteur +fission	1	1
	k.3. Production de chaleur	1	1
	k.4. Fluide/eau	1	1
	k.5. Vapeur	1	1
	k.6. Turbine	1	1
	k.7. Alternateur	1	1
	k.8. Condensateur	1	1
	k.9. Retour du fluide/eau en début de cycle	1	1
L	Chronologie	1	1
		Total ... /10	10

- 4. L'image que nous avons tous des centrales nucléaires est leur(s) grande(s) tour(s) dégageant de la fumée, comme sur la photo ci-dessous. Selon toi, la fumée qui se dégage de ces tours est-elle polluante ? Explique le plus clairement possible ton avis.**

Item	Critère(s)	Pondération	Note
M	Non, pas polluant	2	0
N	Quoi ? Vapeur d'eau	3	0
O	Provenance ? Tour de refroidissement	2	0
P	Fonction ? Refroidissement du réacteur/des fluides au sein du condensateur	2	0
Q	Pas de contact entre l'eau et la matière fissible/radioactive	1	0
		Total ... /10	0

- 5. En sachant que le principe de base à l'origine des bombes nucléaires est la fission nucléaire. Peux-tu expliquer avec tes mots ce qui provoque l'explosion de ces bombes ?**

Item	Critère(s)	Pondération	Note
R	Assemblage des matériaux permettant la fission	2	0
S	Réaction en chaîne importante	3	0
T	Fission non contrôlée	2	0
U	Dégagement (libération) important d'énergie sur un court laps de temps => explosion	3	0
		Total ... /10	0

Informations personnellesNuméro de code : CLDU2609

2 premières lettres du prénom + 2 première lettres du nom + jour de naissance + mois de naissance

Nom :	Prénom :
Sexe : <input type="checkbox"/> Homme <input checked="" type="checkbox"/> Femme	Age : <u>17 ans</u>
Type d'enseignement fréquenté : <input checked="" type="checkbox"/> Secondaire général <input type="checkbox"/> Secondaire technique <input type="checkbox"/> Secondaire professionnel	Année d'étude : <u>6^e</u>
Nom de l'établissement scolaire : <u>5^{te} Regge</u>	Options/orientation : <u>Langues (néerlandais, anglais espagnol) math 4h, Sc 3h</u>

Quelques questions sur la fission nucléaire

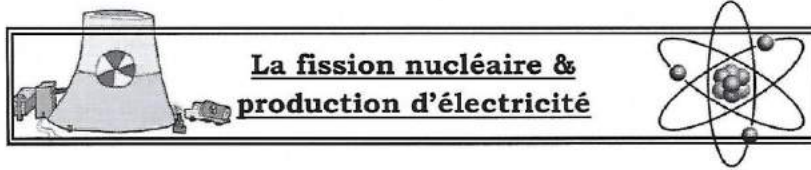
Réponds à cette question après avoir lu le texte fourni avec ce questionnaire. Attention, il est important que tu répondes à cette question sans retourner à ton texte.

1. Retranscris tous les éléments relatifs à la fission et à l'énergie nucléaire dont tu te souviens après cette lecture ?

l'U235, U238, plutonium... et un autre
plutonium peuvent produire des fissions.
Elles permettent de produire de l'énergie
à base d'atomes. (énergie mécanique
transformée en énergie électrique). La
fission va peut-être permettre aux
hommes d'aller sur mars car le moteur
d'une fusée fonctionne comme celui d'une
centrale nucléaire.

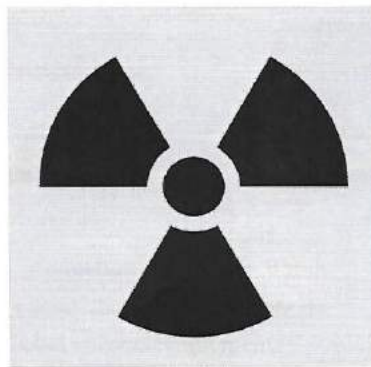
Numéro de code : CLDU2609

(2 premières lettres du prénom + 2 premières lettres du nom + jour de naissance + mois)



La fission nucléaire est la réaction à l'origine de la production d'énergie nucléaire. En effet, une centrale nucléaire produit de l'énergie électrique sur base de combustibles nucléaires ; c'est-à-dire sur base d'atomes dont le noyau a la capacité de se casser sous l'action d'un neutron, et, ce faisant, de libérer une quantité considérable d'énergie. Ce fractionnement du noyau de l'atome nucléaire s'appelle la fission nucléaire. Les principaux atomes pouvant subir ces fissions sont l'uranium 233, l'uranium 235, le plutonium 239 et le plutonium 241.

Ce combustible nucléaire est placé au cœur du réacteur dans lequel il est bombardé par plusieurs neutrons se déplaçant à la vitesse adéquate. Quand un noyau d'uranium 235 absorbe un neutron, il se fractionne en deux fragments ; cette fission génère une grande quantité d'énergie sous forme de chaleur. Chaque fission produit à son tour des neutrons d'énergie élevée qui, en se déplaçant parmi les atomes d'uranium 235 peuvent provoquer la fission d'un nouveau noyau d'atome d'uranium 235 et générer ainsi des réactions en chaîne ; qu'on appelle cascade de fissions. Précisons, que dans nos centrales nucléaires cette réaction en chaîne est contrôlée afin d'éviter qu'elle prenne des proportions énormes et provoquent des incidents. La fission d'un gramme d'uranium produit plus de chaleur que la combustion d'une tonne de pétrole.



Le réacteur nucléaire récupère alors cette chaleur et l'utilise pour chauffer un fluide et produire de la vapeur. Cette vapeur passe ensuite par des turbines qui, en tournant, produisent de l'énergie mécanique transformée en énergie électrique par un alternateur. Pour finir, la vapeur passe par un condensateur afin de redevenir liquide ; ce liquide passera ensuite dans un conduit au sein de la tour de refroidissement dans laquelle il est refroidit avec de l'eau. Après avoir été refroidit, le fluide pourra être réutilisé.

Des moteurs atomiques fonctionnant sur base du même principe permettront peut-être un jour l'homme de voyager sur Mars. Ces moteurs de fusée utilisent la fission nucléaire pour fournir une poussée permettant de propulser les fusées. En effet, comme dans les centrales nucléaires, des combustibles nucléaires sont bombardés de neutrons ; ce qui provoque une cascade de fissions des atomes nucléaires et une production importante de chaleur. Cette chaleur chauffe alors un gaz (du dihydrogène) qui est éjecté par une tuyère permettant de transformer en énergie cinétique l'énergie du gaz de combustion. Cette énergie cinétique permet à la fusée de décoller.



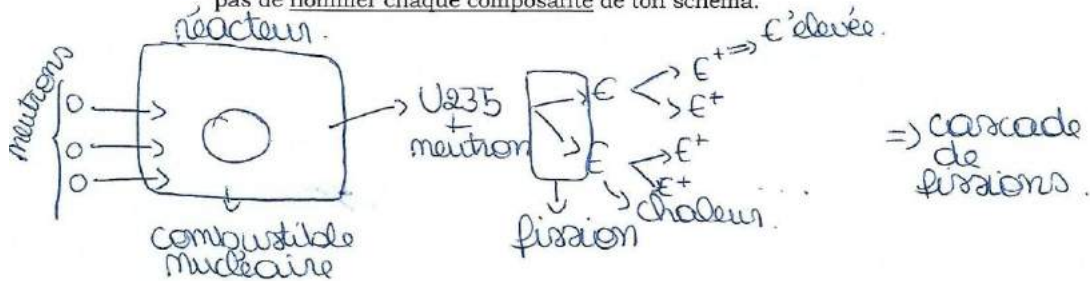
Numéro de code : C L D U 2 6 0 9

(2 premières lettres du prénom + 2 premières lettres du nom + jour de naissance + mois)

Pour les questions suivantes, tu peux réutiliser ton texte !

2. Schématise le principe de la cascade de fissions nucléaires ! N'oublie

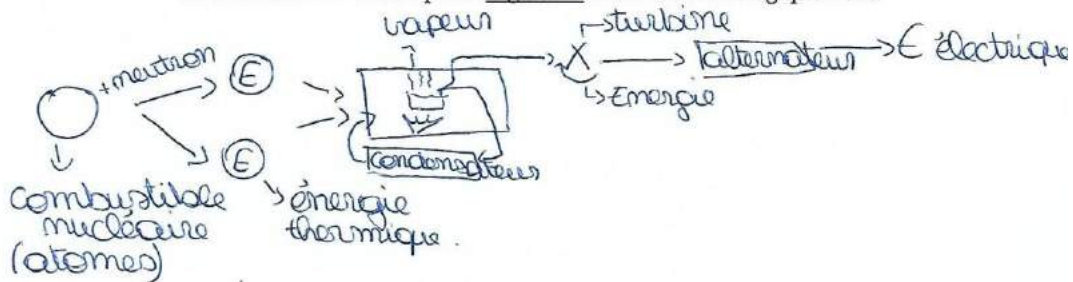
pas de nommer chaque composante de ton schéma.



3. Exemplifie les différentes étapes de la production électrique d'une

centrale nucléaire en les schématisant. Nomme chaque composante de

ton schéma et n'oublie pas d'organiser celui-ci chronologiquement.



Numéro de code : CLDU2609

(2 premières lettres du prénom + 2 premières lettres du nom + jour de naissance + mois)

4. L'image que nous avons tous des centrales nucléaires est leur(s) grande(s) tour(s) dégageant de la fumée, comme sur la photo ci-dessous. Selon toi, la fumée qui se dégage de ces tours est-elle polluante ? Explique le plus clairement possible ton avis.



Non car c'est de la vapeur d'eau.
C'est une perte d'énergie mais ce n'est
pas un polluant. (c'est la vapeur qui
n'est pas transformée en énergie)

5. En sachant que le principe de base à l'origine des bombes nucléaires est la fission nucléaire. Peux-tu expliquer avec tes mots ce qui provoque l'explosion de ces bombes ?

C'est parce qu'il y a un/des atomes)
qui ne sont pas en accord avec les
atomes qui permettent les fissions et
donc provoquent une explosion.

Grille d'évaluation

1. Retranscris tous les éléments relatifs à la fission et à l'énergie nucléaire dont tu te souviens après cette lecture ?

Item	Critère(s)	Pondération	Note
A	Atomes ou combustibles nucléaire (général 0.5 + 0.25 par spécifique)	1.5	0,75
B	Neutron	1	0
C	Bombardement	1	0
D	Fractionnement/fission	1	0
E	Réaction en chaîne	1	0
F	Énergie thermique issue des cascades de fission	2	0
G	Centrale récupère la chaleur issue de la fission	1	0
H	Production électrique sur base de l'énergie thermique (0.5 point pour énergie électrique + 1 si explicitation du passage entre énergie thermique, mécanique et électrique)	1.5	0,5
Total ... /10			1,25

2. Schématise le principe de la cascade de fissions nucléaires ! N'oublie pas de nommer chaque composante de ton schéma.

Item	Critère(s)	Pondération	Note
I	Justesse du schéma et complétude des étapes (nom - moitié + dessin moitié)		
	i.1. Uranium 235/atome nucléaire	1	1
	i.2. Neutron	1	1
	i.3. Bombardement	1	0,5
	i.4. Fragmentation/Fission	1	0
	i.5. Nucléides/fragments/atomes fils	1	0
	i.6. Cascade	3	3
	i.7. Production de chaleur	1	1
J	Chronologie	1	1
Total ... /10			7,5

3. Exemplifie les différentes étapes de la production électrique d'une centrale nucléaire en les schématisant. Nomme chaque composante de ton schéma et n'oublie pas d'organiser celui-ci chronologiquement.

Item	Critère(s)	Pondération	Note
K	Justesse du schéma et complétude des étapes (nom - moitié + dessin moitié)		
	k.1. Combustible nucléaire	1	1

Page | 1

	k.2. Réacteur + fission	1	0
	k.3. Production de chaleur	1	1
	k.4. Fluide/eau	1	0
	k.5. Vapeur	1	1
	k.6. Turbine	1	1
	k.7. Alternateur	1	1
	k.8. Condensateur	1	1
	k.9. Retour du fluide/eau en début de cycle	1	1
L	Chronologie	1	0,5
		Total ... /10	7,5

4. L'image que nous avons tous des centrales nucléaires est leur(s) grande(s) tour(s) dégageant de la fumée, comme sur la photo ci-dessous. Selon toi, la fumée qui se dégage de ces tours est-elle polluante ? Explique le plus clairement possible ton avis.

Item	Critère(s)	Pondération	Note
M	Non, pas polluant	2	2
N	Quoi ? Vapeur d'eau	3	3
O	Provenance ? Tour de refroidissement	2	0
P	Fonction ? Refroidissement du réacteur/des fluides au sein du condensateur	2	0
Q	Pas de contact entre l'eau et la matière fissile/radioactive	1	0
		Total ... /10	

5. En sachant que le principe de base à l'origine des bombes nucléaires est la fission nucléaire. Peux-tu expliquer avec tes mots ce qui provoque l'explosion de ces bombes ?

Item	Critère(s)	Pondération	Note
R	Assemblage des matériaux permettant la fission	2	1
S	Réaction en chaîne importante	3	0
T	Fission non contrôlée	2	0
U	Dégagement (libération) important d'énergie sur un court laps de temps → explosion	3	0
		Total ... /10	

Informations personnellesNuméro de code : EVVA1703

2 premières lettres du prénom + 2 première lettres du nom + jour de naissance + mois de naissance

Nom :	Prénom :
Sexe : <input type="checkbox"/> Homme <input checked="" type="checkbox"/> Femme	Age : <u>16</u>
Type d'enseignement fréquenté : <input checked="" type="checkbox"/> Secondaire général <input type="checkbox"/> Secondaire technique <input type="checkbox"/> Secondaire professionnel	Année d'étude : <u>5^{ème}</u>
Nom de l'établissement scolaire : <u>Sainte-Regge</u> <u>Amelmar</u>	Options/orientation : <u>Sciences 6</u> <u>+ langues</u>

Quelques questions sur la fission nucléaire

Réponds à cette question après avoir lu le texte fourni avec ce questionnaire. Attention, il est important que tu répondes à cette question sans retourner à ton texte.

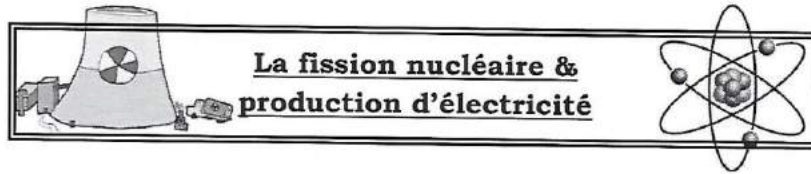
1. Retranscris tous les éléments relatifs à la fission et à l'énergie nucléaire dont tu te souviens après cette lecture ?

des atomes, d'uranium 233 et d'uranium 235 sont utilisés en plus de plutonium 239 et de plutonium 241. La fission nucléaire c'est quand des noyaux sont cassés, en se cassant ils provoquent ce qui va provoquer une réaction en chaîne qui est contrôlée dans les centrales nucléaires bien sûr. La fission nucléaire et 1 gramme d'uranium 235 produit plus de chaleur que la combustion d'1 tonne de pétrole. La fission nucléaire va faire de la vapeur, cette vapeur va faire fonctionner un mécanisme qui grâce à un générateur va transformer l'énergie cinétique.

Page 1

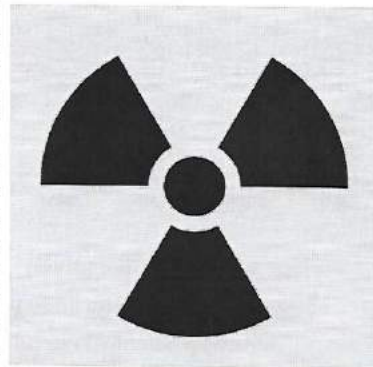
Numéro de code : **EJVA1703**

(2 premières lettres du prénom + 2 premières lettres du nom + jour de naissance + mois)



La fission nucléaire est la réaction à l'origine de la production d'énergie nucléaire. En effet, une centrale nucléaire produit de l'énergie électrique sur base de combustibles nucléaires ; c'est-à-dire sur base d'atomes dont le noyau a la capacité de se casser sous l'action d'un neutron, et, ce faisant, de libérer une quantité considérable d'énergie. Ce fractionnement du noyau de l'atome nucléaire s'appelle la fission nucléaire. Les principaux atomes pouvant subir ces fissions sont l'uranium 233, l'uranium 235, le plutonium 239 et le plutonium 241.

Ce combustible nucléaire est placé au cœur du réacteur dans lequel il est bombardé par plusieurs neutrons se déplaçant à la vitesse adéquate. Quand un noyau d'uranium 235 absorbe un neutron, il se fractionne en deux fragments ; cette fission génère une grande quantité d'énergie sous forme de chaleur. Chaque fission produit à son tour des neutrons d'énergie élevée qui, en se déplaçant parmi les atomes d'uranium 235 peuvent provoquer la fission d'un nouveau noyau d'atome d'uranium 235 et générer ainsi des réactions en chaîne ; qu'on appelle cascade de fissions. Précisons, que dans nos centrales nucléaires cette réaction en chaîne est contrôlée afin d'éviter qu'elle prenne des proportions énormes et provoquent des incidents. La fission d'un gramme d'uranium produit plus de chaleur que la combustion d'une tonne de pétrole.



Le réacteur nucléaire récupère alors cette chaleur et l'utilise pour chauffer un fluide et produire de la vapeur. Cette vapeur passe ensuite par des turbines qui, en tournant, produisent de l'énergie mécanique transformée en énergie électrique par un alternateur. Pour finir, la vapeur passe par un condensateur afin de redevenir liquide ; ce liquide passera ensuite dans un conduit au sein de la tour de refroidissement dans laquelle il est refroidit avec de l'eau. Après avoir été refroidit, le fluide pourra être réutilisé.

Des moteurs atomiques fonctionnant sur base du même principe permettront peut-être un jour l'homme de voyager sur Mars. Ces moteurs de fusée utilisent la fission nucléaire pour fournir une poussée permettant de propulser les fusées. En effet, comme dans les centrales nucléaires, des combustibles nucléaires sont bombardés de neutrons ; ce qui provoque une cascade de fissions des atomes nucléaires et une production importante de chaleur. Cette chaleur chauffe alors un gaz (du dihydrogène) qui est éjecté par une tuyère permettant de transformer en énergie cinétique l'énergie du gaz de combustion. Cette énergie cinétique permet à la fusée de décoller.

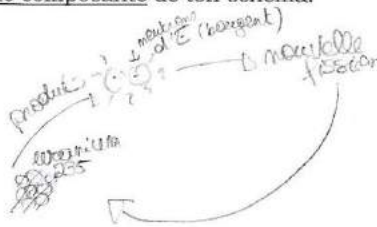


Numéro de code : EVVA1703

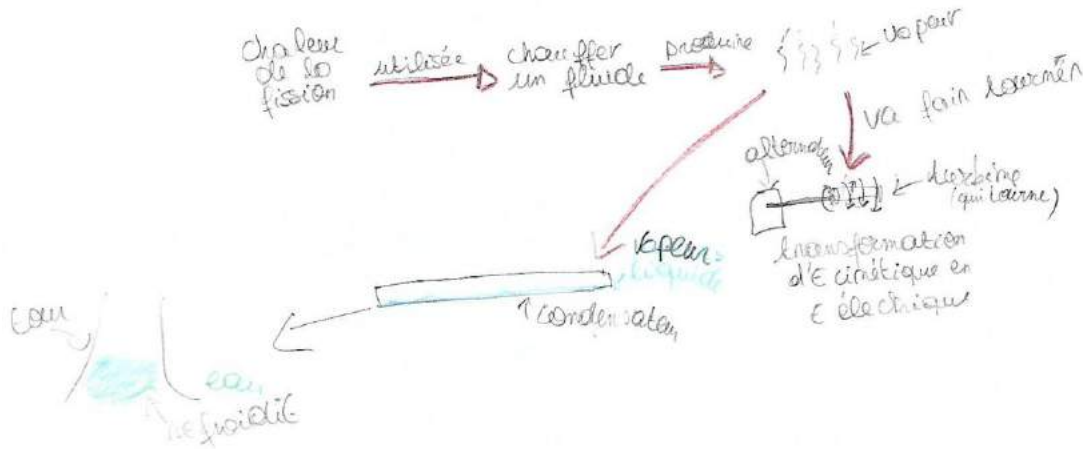
(2 premières lettres du prénom + 2 premières lettres du nom + jour de naissance + mois)

Pour les questions suivantes, tu peux réutiliser ton texte !

2. Schématise le principe de la cascade de fissions nucléaires ! N'oublie pas de nommer chaque composante de ton schéma.

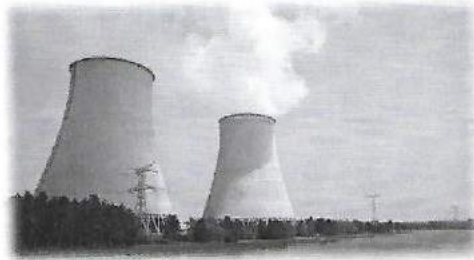


3. Exemplifie les différentes étapes de la production électrique d'une centrale nucléaire en les schématisant. Nomme chaque composante de ton schéma et n'oublie pas d'organiser celui-ci chronologiquement.



Numéro de code : EVVA1703
(2 premières lettres du prénom + 2 premières lettres du nom + jour de naissance + mois)

4. L'image que nous avons tous des centrales nucléaires est leur(s) grande(s) tour(s) dégagant de la fumée, comme sur la photo ci-dessous. Selon toi, la fumée qui se dégage de ces tours est-elle polluante ? Explique le plus clairement possible ton avis.



Cette fumée est produit par le refroidissement d'un fluide dit à l'eau. On ne dit pas ce qu'est ce fluide donc je ne sais pas mais je crois que oui ça doit quand même polluer car c'est pas très naturel tout ça.

5. En sachant que le principe de base à l'origine des bombes nucléaires est la fission nucléaire. Peux-tu expliquer avec tes mots ce qui provoque l'explosion de ces bombes ?

La cascade de fission des atomes nucléaires et la production de chaleur vont provoquer l'explosion des bombes car en chauffant les H_2 de l'énergie cinétique va être transformée. Je suppose que c'est plus ou moins les mêmes nucléaires.

Grille d'évaluation

1. **Retranscris tous les éléments relatifs à la fission et à l'énergie nucléaire dont tu te souviens après cette lecture ?**

Item	Critère(s)	Pondération	Note
A	Atomes ou combustibles nucléaire (général 0.5 + 0.25 par spécifique)	1.5	1,25
B	Neutron	1	0
C	Bombardement	1	0
D	Fractionnement/fission	1	1
E	Réaction en chaîne	1	1
F	Énergie thermique issue des cascades de fission	2	2
G	Centrale récupère la chaleur issue de la fission	1	1
H	Production électrique sur base de l'énergie thermique (0.5 point pour énergie électrique + 1 si explicitation du passage entre énergie thermique, mécanique et électrique)	1.5	0
Total ... /10			6,25

2. **Schématise le principe de la cascade de fissions nucléaires ! N'oublie pas de nommer chaque composante de ton schéma.**

Item	Critère(s)	Pondération	Note
I	Justesse du schéma et complétude des étapes (nom - moitié + dessin moitié)		
	i.1. Uranium 235/atome nucléaire	1	1
	i.2. Neutron	1	0
	i.3. Bombardement	1	0
	i.4. Fragmentation/Fission	1	1
	i.5. Nucléides/fragments/atomes fils	1	1
	i.6. Cascade	3	1,5
	i.7. Production de chaleur	1	0
J	Chronologie	1	1
Total ... /10			5,5

3. **Exemplifie les différentes étapes de la production électrique d'une centrale nucléaire en les schématisant. Nomme chaque composante de ton schéma et n'oublie pas d'organiser celui-ci chronologiquement.**

Item	Critère(s)	Pondération	Note
K	Justesse du schéma et complétude des étapes (nom - moitié + dessin moitié) k.1. Combustible nucléaire	1	0

	k.2. Réacteur +fission	1	0,25
	k.3. Production de chaleur	1	0,5
	k.4. Fluide/eau	1	0,5
	k.5. Vapeur	1	1
	k.6. Turbine	1	1
	k.7. Alternateur	1	1
	k.8. Condensateur	1	1
	k.9. Retour du fluide/eau en début de cycle	1	0,5
L	Chronologie	1	1
		Total ... /10	6,75

4. L'image que nous avons tous des centrales nucléaires est leur(s) grande(s) tour(s) dégageant de la fumée, comme sur la photo ci-dessous. Selon toi, la fumée qui se dégage de ces tours est-elle polluante ? Explique le plus clairement possible ton avis.

Item	Critère(s)	Pondération	Note
M	Non, pas polluant	2	0
N	Quoi ? Vapeur d'eau	3	3
O	Provenance ? Tour de refroidissement	2	0
P	Fonction ? Refroidissement du réacteur/des fluides au sein du condensateur	2	2
Q	Pas de contact entre l'eau et la matière fissible/radioactive	1	0
		Total ... /10	5

5. En sachant que le principe de base à l'origine des bombes nucléaires est la fission nucléaire. Peux-tu expliquer avec tes mots ce qui provoque l'explosion de ces bombes ?

Item	Critère(s)	Pondération	Note
R	Assemblage des matériaux permettant la fission	2	0
S	Réaction en chaîne importante	3	3
T	Fission non contrôlée	2	0
U	Dégagement (libération) important d'énergie sur un court laps de temps → explosion	3	1,5
		Total ... /10	4,5

Informations personnelles**Numéro de code :** FLKL2910

2 premières lettres du prénom + 2 première lettres du nom + jour de naissance + mois de naissance

Nom :	Prénom :
Sexe :	Age : 17 ans
<input type="checkbox"/> Homme	
<input checked="" type="checkbox"/> Femme	
Type d'enseignement fréquenté :	Année d'étude : 6 ^e
<input checked="" type="checkbox"/> Secondaire général	
<input type="checkbox"/> Secondaire technique	Options/orientation : Anglais 4h,
<input type="checkbox"/> Secondaire professionnel	math 4h, sciences
Nom de l'établissement scolaire :	math 4h, sciences
ISBA	sociales et culture générale

Quelques questions sur la fission nucléaire

Réponds à cette question après avoir lu le texte fourni avec ce questionnaire. Attention, il est important que tu répondes à cette question sans retourner à ton texte.

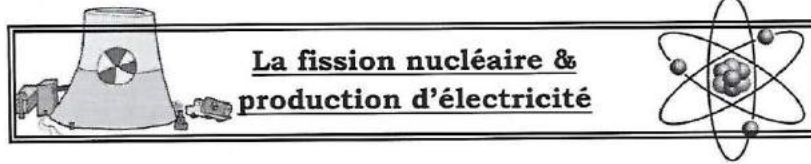
1. Retranscris tous les éléments relatifs à la fission et à l'énergie nucléaire dont tu te souviens après cette lecture ?

La fission nucléaire c'est "casser" des atomes à l'aide de neutrons. Seuls quelques atomes peuvent subir cela : l'uranium 233 et 235 et le plutonium 239 et 241. Cette réaction de fission se produit dans les centrales nucléaires. Lors de ces réactions, de la vapeur d'eau va être produite, elle va être refroidie pour être à l'état liquide. Une partie de ce liquide va se transformer en énergie mécanique puis électrique (en passant par l'inducteur de la centrale), l'autre partie va être réchauffée pour redevenir vapeur d'eau et fluide pour ensuite être réutilisée.

Page | 1

Numéro de code : FLKL2910

(2 premières lettres du prénom + 2 premières lettres du nom + jour de naissance + mois)



La fission nucléaire est la réaction à l'origine de la production d'énergie nucléaire. En effet, une centrale nucléaire produit de l'énergie électrique sur base de combustibles nucléaires ; c'est-à-dire sur base d'atomes dont le noyau a la capacité de se casser sous l'action d'un neutron, et, ce faisant, de libérer une quantité considérable d'énergie. Ce fractionnement du noyau de l'atome nucléaire s'appelle la fission nucléaire. Les principaux atomes pouvant subir ces fissions sont l'uranium 233, l'uranium 235, le plutonium 239 et le plutonium 241.

Ce combustible nucléaire est placé au cœur du réacteur dans lequel il est bombardé par plusieurs neutrons se déplaçant à la vitesse adéquate. Quand un noyau d'uranium 235 absorbe un neutron, il se fractionne en deux fragments ; cette fission génère une grande quantité d'énergie sous forme de chaleur. Chaque fission produit à son tour des neutrons d'énergie élevée qui, en se déplaçant parmi les atomes d'uranium 235 peuvent provoquer la fission d'un nouveau noyau d'atome d'uranium 235 et générer ainsi des réactions en chaîne ; qu'on appelle cascade de fissions. Précisons, que dans nos centrales nucléaires cette réaction en chaîne est contrôlée afin d'éviter qu'elle prenne des proportions énormes et provoquent des incidents. La fission d'un gramme d'uranium produit plus de chaleur que la combustion d'une tonne de pétrole.



Le réacteur nucléaire récupère alors cette chaleur et l'utilise pour chauffer un fluide et produire de la vapeur. Cette vapeur passe ensuite par des turbines qui, en tournant, produisent de l'énergie mécanique transformée en énergie électrique par un alternateur. Pour finir, la vapeur passe par un condenseur afin de redevenir liquide ; ce liquide passera ensuite dans un conduit au sein de la tour de refroidissement dans laquelle il est refroidit avec de l'eau. Après avoir été refroidit, le fluide pourra être réutilisé.

Des moteurs atomiques fonctionnant sur base du même principe permettront peut-être un jour l'homme de voyager sur Mars. Ces moteurs de fusée utilisent la fission nucléaire pour fournir une poussée permettant de propulser les fusées. En effet, comme dans les centrales nucléaires, des combustibles nucléaires sont bombardés de neutrons ; ce qui provoque une cascade de fissions des atomes nucléaires et une production importante de chaleur. Cette chaleur chauffe alors un gaz (du dihydrogène) qui est éjecté par une tuyère permettant de transformer en énergie cinétique l'énergie du gaz de combustion. Cette énergie cinétique permet à la fusée de décoller.

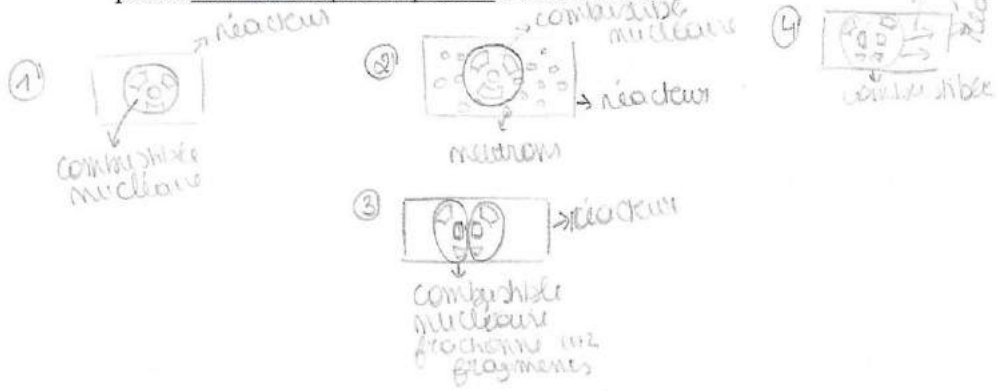


Numéro de code : FLKL2910

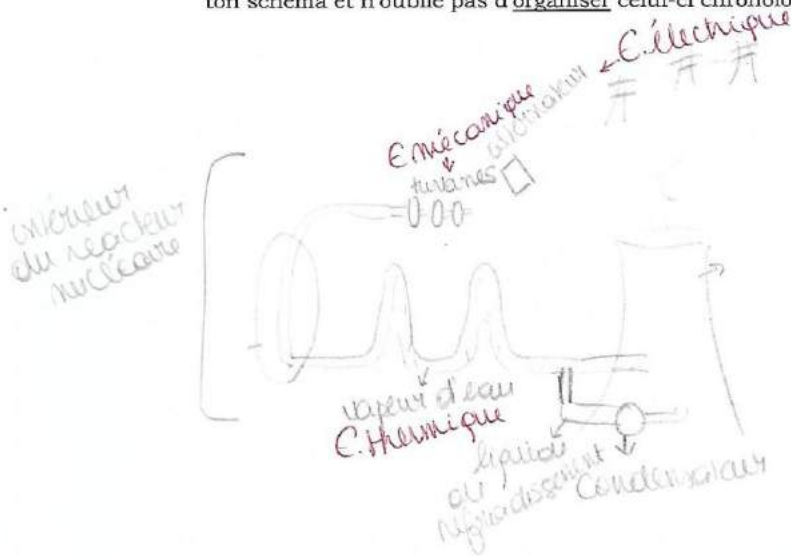
(2 premières lettres du prénom + 2 premières lettres du nom + jour de naissance + mois)

Pour les questions suivantes, tu peux réutiliser ton texte !

2. Schématise le principe de la cascade de fissions nucléaires ! N'oublie pas de nommer chaque composante de ton schéma.



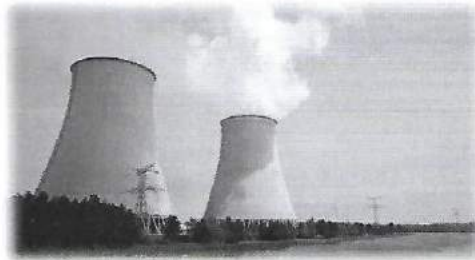
3. Exemplifie les différentes étapes de la production électrique d'une centrale nucléaire en les schématisant. Nomme chaque composante de ton schéma et n'oublie pas d'organiser celui-ci chronologiquement.



Numéro de code : FLKL2910

(2 premières lettres du prénom + 2 premières lettres du nom + jour de naissance + mois)

4. L'image que nous avons tous des centrales nucléaires est leur(s) grande(s) tour(s) dégageant de la fumée, comme sur la photo ci-dessous. Selon toi, la fumée qui se dégage de ces tours est-elle polluante ? Explique le plus clairement possible ton avis.



Un peu polluante mais pas tellement car cette fumée est le résultat d'un fluide chauffé qui dégage de la vapeur d'eau avec quelques fragments d'atomes. Donc à part ces petits fragments d'atomes, ce n'est que le résultat d'eau chauffée (vapeur d'eau).

5. En sachant que le principe de base à l'origine des bombes nucléaires est la fission nucléaire. Peux-tu expliquer avec tes mots ce qui provoque l'explosion de ces bombes ?

Pas le temps

Grille d'évaluation

1. Retranscris tous les éléments relatifs à la fission et à l'énergie nucléaire dont tu te souviens après cette lecture ?

Item	Critère(s)	Pondération	Note
A	Atomes ou combustibles nucléaire (général 0.5 + 0.25 par spécifique)	1.5	0,5 +0,75
B	Neutron	1	1
C	Bombardement	1	0
D	Fractionnement/fission	1	1
E	Réaction en chaîne	1	0
F	Énergie thermique issue des cascades de fission	2	0
G	Centrale récupère la chaleur issue de la fission	1	0
H	Production électrique sur base de l'énergie thermique (0.5 point pour énergie électrique + 1 si explicitation du passage entre énergie thermique, mécanique et électrique)	1.5	0
Total ... /10			3,25

2. Schématise le principe de la cascade de fissions nucléaires ! N'oublie pas de nommer chaque composante de ton schéma.

Item	Critère(s)	Pondération	Note
I	Justesse du schéma et complétude des étapes (nom - moitié + dessin moitié)		
	i.1. Uranium 235/atome nucléaire	1	1
	i.2. Neutron	1	1
	i.3. Bombardement	1	0,5
	i.4. Fragmentation/Fission	1	1
	i.5. Nucléides/fragments/atomes fils	1	0
	i.6. Cascade	3	0
	i.7. Production de chaleur	1	1
J	Chronologie	1	1
Total ... /10			5,5

3. Exemplifie les différentes étapes de la production électrique d'une centrale nucléaire en les schématisant. Nomme chaque composante de ton schéma et n'oublie pas d'organiser celui-ci chronologiquement.

Item	Critère(s)	Pondération	Note
K	Justesse du schéma et complétude des étapes (nom - moitié + dessin moitié)		
	k.1. Combustible nucléaire	1	0

	k.2. Réacteur +fission	1	0,5
	k.3. Production de chaleur	1	0
	k.4. Fluide/eau	1	1
	k.5. Vapeur	1	1
	k.6. Turbine	1	1
	k.7. Alternateur	1	1
	k.8. Condensateur	1	1
	k.9. Retour du fluide/eau en début de cycle	1	1
L	Chronologie	1	0
		Total ... /10	6,5

4. L'image que nous avons tous des centrales nucléaires est leur(s) grande(s) tour(s) dégageant de la fumée, comme sur la photo ci-dessous. Selon toi, la fumée qui se dégage de ces tours est-elle polluante ? Explique le plus clairement possible ton avis.

Item	Critère(s)	Pondération	Note
M	Non, pas polluant	2	0
N	Quoi ? Vapeur d'eau	3	3
O	Provenance ? Tour de refroidissement	2	0
P	Fonction ? Refroidissement du réacteur/des fluides au sein du condensateur	2	0
Q	Pas de contact entre l'eau et la matière fissible/radioactive	1	0
		Total ... /10	5

Pas le temps

5. En sachant que le principe de base à l'origine des bombes nucléaires est la fission nucléaire. Peux-tu expliquer avec tes mots ce qui provoque l'explosion de ces bombes ?

Item	Critère(s)	Pondération	Note
R	Assemblage des matériaux permettant la fission	2	X
S	Réaction en chaîne importante	3	X
T	Fission non contrôlée	2	X
U	Dégagement (libération) important d'énergie sur un court laps de temps -> explosion	3	X
		Total ... /10	X

Informations personnellesNuméro de code : LAL00505

2 premières lettres du prénom + 2 première lettres du nom + jour de naissance + mois de naissance

Nom :	Prénom :
Sexe :	Age : <u>16 ans</u>
<input type="checkbox"/> Homme	
<input checked="" type="checkbox"/> Femme	
Type d'enseignement fréquenté :	Année d'étude : <u>5^{ème} année</u>
<input checked="" type="checkbox"/> Secondaire général	
<input type="checkbox"/> Secondaire technique	Options/orientation :
<input type="checkbox"/> Secondaire professionnel	
Nom de l'établissement scolaire :	<u>Sciences F.orte</u>
<u>Athènes de Huy</u>

Quelques questions sur la fission nucléaire

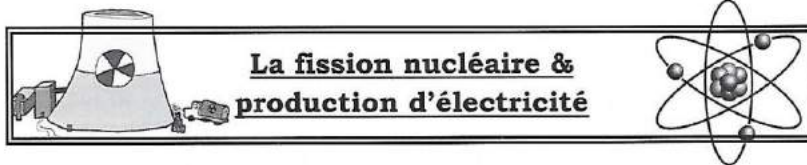
Réponds à cette question après avoir lu le texte fourni avec ce questionnaire. Attention, il est important que tu répondes à cette question sans retourner à ton texte.

1. Retranscris tous les éléments relatifs à la fission et à l'énergie nucléaire dont tu te souviens après cette lecture ?

fission nucléaire : atome dont le noyau se fragmente à l'aide des électrons (uranium 233, uranium 235, plutonium 239, plutonium 241) se qui produit de la chaleur.
L'énergie nucléaire est utilisé dans les centrales. on casse l'uranium 235 en 2, et les chocs d'électrons s'enchaînent. C'est beaucoup contrôlé pour éviter les incendies. On utilise la vapeur d'eau avec les turbines pour faire de l'énergie mécanique. On produit aussi de l'énergie électrique.
On se sert de la fission nucléaire pour faire sécher les fusées. Ça les propulse. (homme voyage sur ^{Page | 1} Mars).

Numéro de code : LA 600205

(2 premières lettres du prénom + 2 premières lettres du nom + jour de naissance + mois)



La fission nucléaire est la réaction à l'origine de la production d'énergie nucléaire. En effet, une centrale nucléaire produit de l'énergie électrique sur base de combustibles nucléaires ; c'est-à-dire sur base d'atomes dont le noyau a la capacité de se casser sous l'action d'un neutron, et, ce faisant, de libérer une quantité considérable d'énergie. Ce fractionnement du noyau de l'atome nucléaire s'appelle la fission nucléaire. Les principaux atomes pouvant subir ces fissions sont l'uranium 233, l'uranium 235, le plutonium 239 et le plutonium 241.

Ce combustible nucléaire est placé au cœur du réacteur dans lequel il est bombardé par plusieurs neutrons se déplaçant à la vitesse adéquate. Quand un noyau d'uranium 235 absorbe un neutron, il se fractionne en deux fragments ; cette fission génère une grande quantité d'énergie sous forme de chaleur. Chaque fission produit à son tour des neutrons d'énergie élevée qui, en se déplaçant parmi les atomes d'uranium 235 peuvent provoquer la fission d'un nouveau noyau d'atome d'uranium 235 et générer ainsi des réactions en chaîne ; qu'on appelle "cascade de fissions". Précisons, que dans nos centrales nucléaires cette réaction en chaîne est contrôlée afin d'éviter qu'elle prenne des proportions énormes et provoquent des incidents. La fission d'un gramme d'uranium produit plus de chaleur que la combustion d'une tonne de pétrole.



Le réacteur nucléaire récupère alors cette chaleur et l'utilise pour chauffer un fluide et produire de la vapeur. Cette vapeur passe ensuite par des turbines qui, en tournant, produisent de l'énergie mécanique transformée en énergie électrique par un alternateur. Pour finir, la vapeur passe par un condensateur afin de redevenir liquide ; ce liquide passera ensuite dans un conduit au sein de la tour de refroidissement dans laquelle il est refroidit avec de l'eau. Après avoir été refroidit, le fluide pourra être réutilisé.

Des moteurs atomiques fonctionnant sur base du même principe permettront peut-être un jour l'homme de voyager sur Mars. Ces moteurs de fusée utilisent la fission nucléaire pour fournir une poussée permettant de propulser les fusées. En effet, comme dans les centrales nucléaires, des combustibles nucléaires sont bombardés de neutrons ; ce qui provoque une cascade de fissions des atomes nucléaires et une production importante de chaleur. Cette chaleur chauffe alors un gaz (du dihydrogène) qui est éjecté par une tuyère permettant de transformer en énergie cinétique l'énergie du gaz de combustion. Cette énergie cinétique permet à la fusée de décoller.

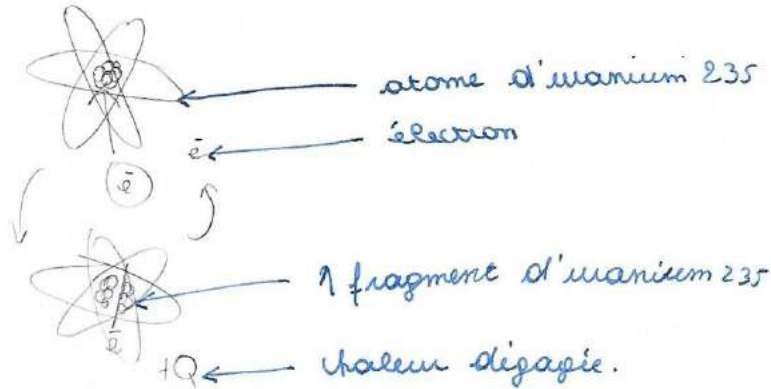


Numéro de code : L A C O O J O S

(2 premières lettres du prénom + 2 premières lettres du nom + jour de naissance + mois)

Pour les questions suivantes, tu peux réutiliser ton texte !

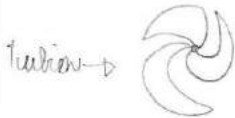
2. Schématise le principe de la cascade de fissions nucléaires ! N'oublie pas de nommer chaque composante de ton schéma.



3. Exemplifie les différentes étapes de la production électrique d'une centrale nucléaire en les schématisant. Nomme chaque composante de ton schéma et n'oublie pas d'organiser celui-ci chronologiquement.

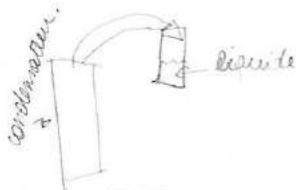


chaleur pour chauffer un fluide.
=> vapeur.



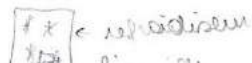
la vapeur passe dans les turbines
=> énergie mécanique.

alternateur => puis passe dans un alternateur
=> énergie électrique.



la vapeur passe dans un condenseur
=> devient liquide.

Page | 3

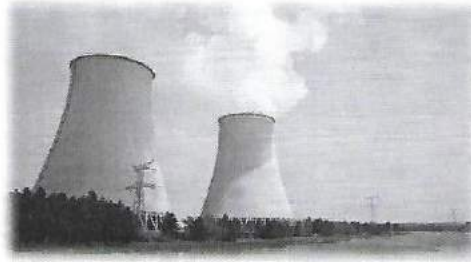


le fluide est refroidi pour être réutilisé.

Numéro de code : LAC00505

(2 premières lettres du prénom + 2 premières lettres du nom + jour de naissance + mois)

4. L'image que nous avons tous des centrales nucléaires est leur(s) grande(s) tour(s) dégageant de la fumée, comme sur la photo ci-dessous. Selon toi, la fumée qui se dégage de ces tours est-elle polluante ? Explique le plus clairement possible ton avis.



Pour moi, cette fumée n'est pas polluante
parce que c'est de la vapeur d'eau.
Et l'eau ne pollue pas. C'est naturel.

5. En sachant que le principe de base à l'origine des bombes nucléaires est la fission nucléaire. Peux-tu expliquer avec tes mots ce qui provoque l'explosion de ces bombes ?

L'explosion de ces bombes est due à la fission.

Grille d'évaluation

1. **Retranscris tous les éléments relatifs à la fission et à l'énergie nucléaire dont tu te souviens après cette lecture ?**

Item	Critère(s)	Pondération	Note
A	Atomes ou combustibles nucléaire (général 0.5 + 0.25 par spécifique)	1.5	1,5
B	Neutron	1	0
C	Bombardement	1	0,5
D	Fractionnement/fission	1	1
E	Réaction en chaîne	1	0,5
F	Énergie thermique issue des cascades de fission	2	2
G	Centrale récupère la chaleur issue de la fission	1	1
H	Production électrique sur base de l'énergie thermique (0.5 point pour énergie électrique + 1 si explicitation du passage entre énergie thermique, mécanique et électrique)	1.5	0,5
Total ... /10			7

2. **Schématise le principe de la cascade de fissions nucléaires ! N'oublie pas de nommer chaque composante de ton schéma.**

Item	Critère(s)	Pondération	Note
I	Justesse du schéma et complétude des étapes (nom - moitié + dessin moitié)		
	i.1. Uranium 235/atome nucléaire	1	1
	i.2. Neutron	1	0
	i.3. Bombardement	1	0,5
	i.4. Fragmentation/Fission	1	1
	i.5. Nucléides/fragments/atomes fils	1	1
	i.6. Cascade	3	0
	i.7. Production de chaleur	1	1
J	Chronologie	1	1
Total ... /10			5,5

3. **Exemplifie les différentes étapes de la production électrique d'une centrale nucléaire en les schématisant. Nomme chaque composante de ton schéma et n'oublie pas d'organiser celui-ci chronologiquement.**

Item	Critère(s)	Pondération	Note
K	Justesse du schéma et complétude des étapes (nom - moitié + dessin moitié)		
	k.1. Combustible nucléaire	1	0

	k.2. Réacteur +fission	1	0
	k.3. Production de chaleur	1	1
	k.4. Fluide/eau	1	1
	k.5. Vapeur	1	1
	k.6. Turbine	1	1
	k.7. Alternateur	1	1
	k.8. Condensateur	1	1
	k.9. Retour du fluide/eau en début de cycle	1	1
L	Chronologie	1	1
		Total ... /10	8

4. L'image que nous avons tous des centrales nucléaires est leur(s) grande(s) tour(s) dégageant de la fumée, comme sur la photo ci-dessous. Selon toi, la fumée qui se dégage de ces tours est-elle polluante ? Explique le plus clairement possible ton avis.

Item	Critère(s)	Pondération	Note
M	Non, pas polluant	2	2
N	Quoi ? Vapeur d'eau	3	3
O	Provenance ? Tour de refroidissement	2	0
P	Fonction ? Refroidissement du réacteur/des fluides au sein du condensateur	2	0
Q	Pas de contact entre l'eau et la matière fissile/radioactive	1	0
		Total ... /10	5

5. En sachant que le principe de base à l'origine des bombes nucléaires est la fission nucléaire. Peux-tu expliquer avec tes mots ce qui provoque l'explosion de ces bombes ?

Item	Critère(s)	Pondération	Note
R	Assemblage des matériaux permettant la fission	2	1
S	Réaction en chaîne importante	3	0
T	Fission non contrôlée	2	0
U	Dégagement (libération) important d'énergie sur un court laps de temps => explosion	3	0
		Total ... /10	1

Informations personnelles**Numéro de code :** LULI2307

2 premières lettres du prénom + 2 première lettres du nom + jour de naissance + mois de naissance

Nom :	Prénom :
Sexe : <input type="checkbox"/> Homme <input checked="" type="checkbox"/> Femme	Age : ...17.....
Type d'enseignement fréquenté : <input checked="" type="checkbox"/> Secondaire général <input type="checkbox"/> Secondaire technique <input type="checkbox"/> Secondaire professionnel	Année d'étude : ...6 ^{ème}
Nom de l'établissement scolaire : ...Athénée Royal de Huy.....	Options/orientation : ...Langue ...Sciences faibles... (S.H.).....

Quelques questions sur la fission nucléaire

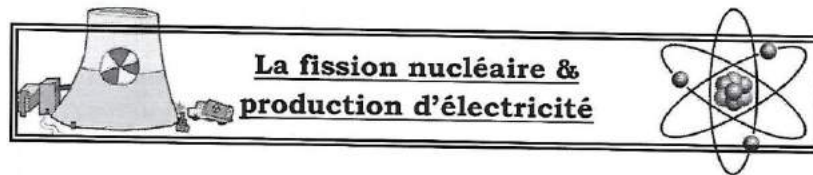
Réponds à cette question après avoir lu le texte fourni avec ce questionnaire. Attention, il est important que tu répondes à cette question sans retourner à ton texte.

1. Retranscris tous les éléments relatifs à la fission et à l'énergie nucléaire dont tu te souviens après cette lecture ?

La fission est provoquée par les neutrons qui bombardent un atome (tel que l'uranium).
Et cela permet de dégager de la chaleur, donc il y a dégagement de gaz.
Dans une usine, la fission se produit au centre du réacteur nucléaire. Le gaz dégagé fait tourner des turbines et active l'énergie mécanique pour finalement se transformer en énergie nucléaire.
Il y a aussi ce qu'on appelle la fission en cascade ; en effet, la fission casse l'atome en 2 mais libère aussi d'autres neutrons qui vont bombarder d'autres atomes et ainsi de suite.

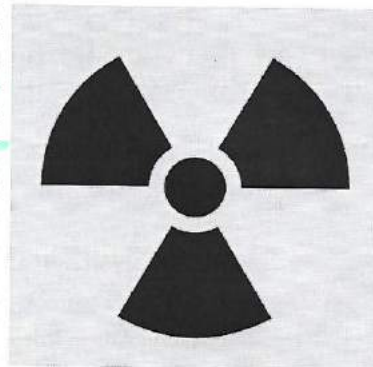
Numéro de code : L U L i 2 3 0 7

(2 premières lettres du prénom + 2 premières lettres du nom + jour de naissance + mois)



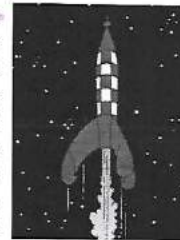
La fission nucléaire est la réaction à l'origine de la production d'énergie nucléaire. En effet, une centrale nucléaire produit de l'énergie électrique sur base de combustibles nucléaires ; c'est-à-dire sur base d'atomes dont le noyau a la capacité de se casser sous l'action d'un neutron, et, ce faisant, de libérer une quantité considérable d'énergie. Ce fractionnement du noyau de l'atome nucléaire s'appelle la fission nucléaire. Les principaux atomes pouvant subir ces fissions sont l'uranium 233, l'uranium 235, le plutonium 239 et le plutonium 241.

Ce combustible nucléaire est placé au cœur du réacteur dans lequel il est bombardé par plusieurs neutrons se déplaçant à la vitesse adéquate. Quand un noyau d'uranium 235 absorbe un neutron, il se fractionne en deux fragments ; cette fission génère une grande quantité d'énergie sous forme de chaleur. Chaque fission produit à son tour des neutrons d'énergie élevée qui, en se déplaçant parmi les atomes d'uranium 235 peuvent provoquer la fission d'un nouveau noyau d'atome d'uranium 235 et générer ainsi des réactions en chaîne ; qu'on appelle cascade de fissions. Précisons, que dans nos centrales nucléaires cette réaction en chaîne est contrôlée afin d'éviter qu'elle prenne des proportions énormes et provoquent des incidents. La fission d'un gramme d'uranium produit plus de chaleur que la combustion d'une tonne de pétrole.



Le réacteur nucléaire récupère alors cette chaleur et l'utilise pour chauffer un fluide et produire de la vapeur. Cette vapeur passe ensuite par des turbines qui, en tournant, produisent de l'énergie mécanique transformée en énergie électrique par un alternateur. Pour finir, la vapeur passe par un condensateur afin de redevenir liquide ; ce liquide passera ensuite dans un conduit au sein de la tour de refroidissement dans laquelle il est refroidit avec de l'eau. Après avoir été refroidit, le fluide pourra être réutilisé.

Des moteurs atomiques fonctionnant sur base du même principe permettront peut-être un jour l'homme de voyager sur Mars. Ces moteurs de fusée utilisent la fission nucléaire pour fournir une poussée permettant de propulser les fusées. En effet, comme dans les centrales nucléaires, des combustibles nucléaires sont bombardés de neutrons ; ce qui provoque une cascade de fissions des atomes nucléaires et une production importante de chaleur. Cette chaleur chauffe alors un gaz (du dihydrogène) qui est éjecté par une tuyère permettant de transformer en énergie cinétique l'énergie du gaz de combustion. Cette énergie cinétique permet à la fusée de décoller.

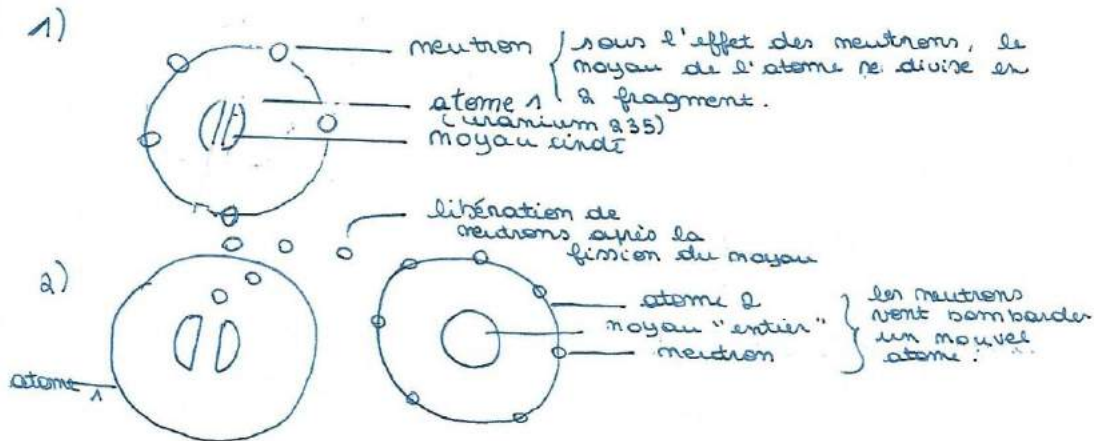


Numéro de code : L U L i 2 3 0 7

(2 premières lettres du prénom + 2 premières lettres du nom + jour de naissance + mois)

Pour les questions suivantes, tu peux réutiliser ton texte !

2. Schématise le principe de la cascade de fissions nucléaires ! N'oublie pas de nommer chaque composante de ton schéma.



3. Exemplifie les différentes étapes de la production électrique d'une centrale nucléaire en les schématisant. Nomme chaque composante de ton schéma et n'oublie pas d'organiser celui-ci chronologiquement.

1) (question 2) + dégagement de chaleur

2) $\left. \begin{array}{l} \text{}} \right\} \text{--- chaleur} \\ \text{O} \text{--- fluide} \end{array} \right. = \text{vague} \leftarrow \text{vapeur}$

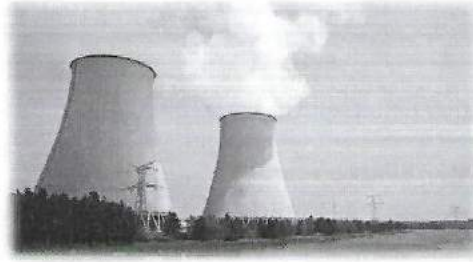
3) me sait pas comment schématiser + manque de temps
(énergie mécanique)
= $\left. \begin{array}{l} \text{}} \right\} \text{--- énergie électrique}$

→ Manque de temps pour achever cette question.

Numéro de code : 26112307

(2 premières lettres du prénom + 2 premières lettres du nom + jour de naissance + mois)

4. L'image que nous avons tous des centrales nucléaires est leur(s) grande(s) tour(s) dégageant de la fumée, comme sur la photo ci-dessous. Selon toi, la fumée qui se dégage de ces tours est-elle polluante ? Explique le plus clairement possible ton avis.



Qui je pense que cette fumée est polluante car tous ces procédés sont chimiques et radioactifs. D'ailleurs c'est bien ce qu'explique le terme "nucléaire". De plus nous pensons que les gens qui y travaillent doivent porter des combinaisons car c'est toxique.

5. En sachant que le principe de base à l'origine des bombes nucléaires est la fission nucléaire. Peux-tu expliquer avec tes mots ce qui provoque l'explosion de ces bombes ?

L'explosion de ces bombes est provoquée, selon moi, par le principe de "cascade de fissions". Si ce procédé prend de grandes proportions, ça peut devenir dangereux. D'ailleurs dans les usines, cette activité est contrôlée.

Grille d'évaluation

1. Retranscris tous les éléments relatifs à la fission et à l'énergie nucléaire dont tu te souviens après cette lecture ?

Item	Critère(s)	Pondération	Note
A	Atomes ou combustibles nucléaire (général 0.5 + 0.25 par spécifique)	1.5	0,75
B	Neutron	1	1
C	Bombardement	1	1
D	Fractionnement/fission	1	1
E	Réaction en chaîne	1	1
F	Énergie thermique issue des cascades de fission	2	1
G	Centrale récupère la chaleur issue de la fission	1	0,5
H	Production électrique sur base de l'énergie thermique (0,5 point pour énergie électrique + 1 si explicitation du passage entre énergie thermique, mécanique et électrique)	1.5	0,5
Total ... /10			6,75

2. Schématise le principe de la cascade de fissions nucléaires ! N'oublie pas de nommer chaque composante de ton schéma.

Item	Critère(s)	Pondération	Note
I	Justesse du schéma et complétude des étapes (nom - moitié + dessin moitié) i.1. Uranium 235/atome nucléaire i.2. Neutron i.3. Bombardement i.4. Fragmentation/Fission i.5. Nucléides/fragments/atomes fils i.6. Cascade i.7. Production de chaleur	1 1 1 1 1 3 1	1 1 1 1 1 1,5 0
J	Chronologie	1	1
Total ... /10			7,5

3. Exemplifie les différentes étapes de la production électrique d'une centrale nucléaire en les schématisant. Nomme chaque composante de ton schéma et n'oublie pas d'organiser celui-ci chronologiquement.

Item	Critère(s)	Pondération	Note
K	Justesse du schéma et complétude des étapes (nom - moitié + dessin moitié) k.1. Combustible nucléaire	1	1

Page | 1

	k.2. Réacteur +fission	1	0
	k.3. Production de chaleur	1	1
	k.4. Fluide/eau	1	1
	k.5. Vapeur	1	1
	k.6. Turbine	1	0
	k.7. Alternateur	1	0
	k.8. Condensateur	1	0
	k.9. Retour du fluide/eau en début de cycle	1	0
L	Chronologie	1	1
		Total ... /10	5

4. L'image que nous avons tous des centrales nucléaires est leur(s) grande(s) tour(s) dégageant de la fumée, comme sur la photo ci-dessous. Selon toi, la fumée qui se dégage de ces tours est-elle polluante ? Explique le plus clairement possible ton avis.

Item	Critère(s)	Pondération	Note
M	Non, pas polluant	2	0
N	Quoi ? Vapeur d'eau	3	0
O	Provenance ? Tour de refroidissement	2	0
P	Fonction ? Refroidissement du réacteur/des fluides au sein du condensateur	2	0
Q	Pas de contact entre l'eau et la matière fissible/radioactive	1	0
		Total ... /10	0

5. En sachant que le principe de base à l'origine des bombes nucléaires est la fission nucléaire. Peux-tu expliquer avec tes mots ce qui provoque l'explosion de ces bombes ?

Item	Critère(s)	Pondération	Note
R	Assemblage des matériaux permettant la fission	2	0
S	Réaction en chaîne importante	3	3
T	Fission non contrôlée	2	2
U	Dégagement (libération) important d'énergie sur un court laps de temps => explosion	3	0
		Total ... /10	5

Informations personnellesNuméro de code : M A D E 1 5 0 6

2 premières lettres du prénom + 2 première lettres du nom + jour de naissance + mois de naissance

Nom :	Prénom :
Sexe :	Age : <u>17 ans</u>
<input type="checkbox"/> Homme	
<input checked="" type="checkbox"/> Femme	
Type d'enseignement fréquenté :	Année d'étude : <u>6</u>
<input checked="" type="checkbox"/> Secondaire général	
<input type="checkbox"/> Secondaire technique	Options/orientation :
<input type="checkbox"/> Secondaire professionnel	<u>Sciences sociales et</u>
Nom de l'établissement scolaire :	<u>Anglais / Ndlis :</u>
<u>Sainte - Bege</u>	

Quelques questions sur la fission nucléaire

Réponds à cette question après avoir lu le texte fourni avec ce questionnaire. Attention, il est important que tu répondes à cette question sans retourner à ton texte.

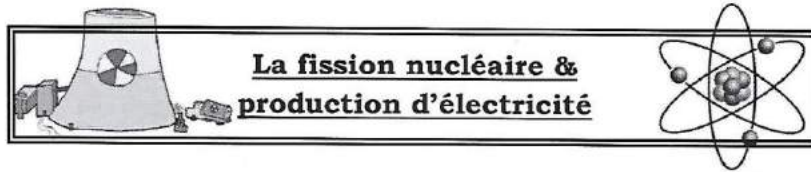
1. Retranscris tous les éléments relatifs à la fission et à l'énergie nucléaire dont tu te souviens après cette lecture ?

Seulement certains atomes peuvent se fissurer (4):
l'uranium 233, l'uranium 235, le plutonium 241 et
encore un autre. Cette fission permet de libérer de
l'énergie qui va se transformer en chaleur. Grâce
à cette chaleur, le réacteur va être en marche.

L'énergie nucléaire peut se transformer en énergie
électrique pour alimenter d'autres choses.

Numéro de code : M A D E I S 0 6

(2 premières lettres du prénom + 2 premières lettres du nom + jour de naissance + mois)



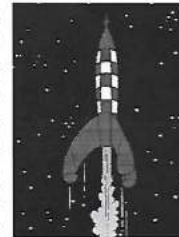
La fission nucléaire est la réaction à l'origine de la production d'énergie nucléaire. En effet, une centrale nucléaire produit de l'énergie électrique sur base de combustibles nucléaires ; c'est-à-dire sur base d'atomes dont le noyau a la capacité de se casser sous l'action d'un neutron, et, ce faisant, de libérer une quantité considérable d'énergie. Ce fractionnement du noyau de l'atome nucléaire s'appelle la fission nucléaire. Les principaux atomes pouvant subir ces fissions sont l'uranium 233, l'uranium 235, le plutonium 239 et le plutonium 241.

Ce combustible nucléaire est placé au cœur du réacteur dans lequel il est bombardé par plusieurs neutrons se déplaçant à la vitesse adéquate. Quand un noyau d'uranium 235 absorbe un neutron, il se fractionne en deux fragments ; cette fission génère une grande quantité d'énergie sous forme de chaleur. Chaque fission produit à son tour des neutrons d'énergie élevée qui, en se déplaçant parmi les atomes d'uranium 235 peuvent provoquer la fission d'un nouveau noyau d'atome d'uranium 235 et générer ainsi des réactions en chaîne ; qu'on appelle cascade de fissions. Précisions, que dans nos centrales nucléaires cette réaction en chaîne est contrôlée afin d'éviter qu'elle prenne des proportions énormes et provoquent des incidents. La fission d'un gramme d'uranium produit plus de chaleur que la combustion d'une tonne de pétrole.



Le réacteur nucléaire récupère alors cette chaleur et l'utilise pour chauffer un fluide et produire de la vapeur. Cette vapeur passe ensuite par des turbines qui, en tournant, produisent de l'énergie mécanique transformée en énergie électrique par un alternateur. Pour finir, la vapeur passe par un condensateur afin de redevenir liquide ; ce liquide passera ensuite dans un conduit au sein de la tour de refroidissement dans laquelle il est refroidit avec de l'eau. Après avoir été refroidit, le fluide pourra être réutilisé.

Des moteurs atomiques fonctionnant sur base du même principe permettront peut-être un jour l'homme de voyager sur Mars. Ces moteurs de fusée utilisent la fission nucléaire pour fournir une poussée permettant de propulser les fusées. En effet, comme dans les centrales nucléaires, des combustibles nucléaires sont bombardés de neutrons ; ce qui provoque une cascade de fissions des atomes nucléaires et une production importante de chaleur. Cette chaleur chauffe alors un gaz (du dihydrogène) qui est éjecté par une tuyère permettant de transformer en énergie cinétique l'énergie du gaz de combustion. Cette énergie cinétique permet à la fusée de décoller.

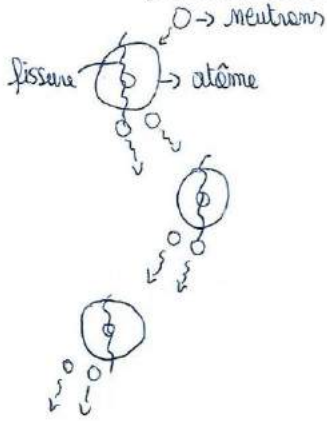


Numéro de code : MAD E I S 0 6

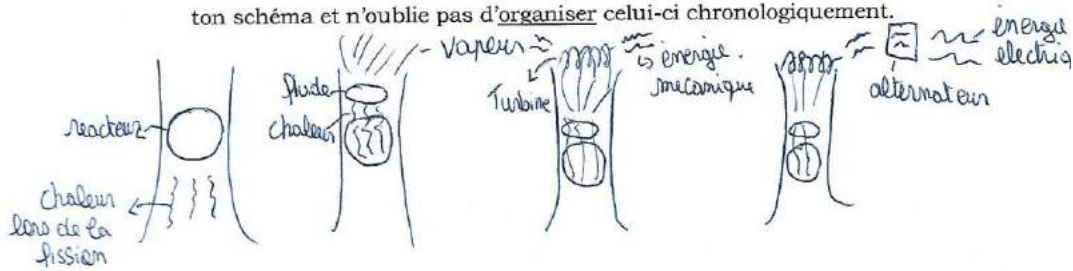
(2 premières lettres du prénom + 2 premières lettres du nom + jour de naissance + mois)

Pour les questions suivantes, tu peux réutiliser ton texte !

2. Schématise le principe de la cascade de fissions nucléaires ! N'oublie pas de nommer chaque composante de ton schéma.



3. Exemple les différentes étapes de la production électrique d'une centrale nucléaire en les schématisant. Nomme chaque composante de ton schéma et n'oublie pas d'organiser celui-ci chronologiquement.



Numéro de code : M A D E I S O 6

(2 premières lettres du prénom + 2 premières lettres du nom + jour de naissance + mois)

4. L'image que nous avons tous des centrales nucléaires est leur(s) grande(s) tour(s) dégageant de la fumée, comme sur la photo ci-dessous. Selon toi, la fumée qui se dégage de ces tours est-elle polluante ? Explique le plus clairement possible ton avis.



Non la fumée n'est pas polluante car cette fumée est
la vapeur d'eau qui sort du réacteur grâce à la
fission de l'atome qui a libéré de la chaleur.

5. En sachant que le principe de base à l'origine des bombes nucléaires est la fission nucléaire. Peux-tu expliquer avec tes mots ce qui provoque l'explosion de ces bombes ?

C'est comme dans la centrale nucléaire, les bombes nucléaires
sont bombardées de neutrons ce qui va fissurer les atomes
nucléaires et libérer beaucoup de chaleur. Cette chaleur
va chauffer le gaz qui est éjecté par une sorte de
tuyau qui permet de transformer l'énergie du gaz
en énergie cinétique ce qui va faire récoller la fusée.

Grille d'évaluation

1. Retranscris tous les éléments relatifs à la fission et à l'énergie nucléaire dont tu te souviens après cette lecture ?

Item	Critère(s)	Pondération	Note
A	Atomes ou combustibles nucléaire (général 0.5 + 0.25 par spécifique)	1.5	1,25
B	Neutron	1	0
C	Bombardement	1	0
D	Fractionnement/fission	1	0
E	Réaction en chaîne	1	0
F	Énergie thermique issue des cascades de fission	2	2
G	Centrale récupère la chaleur issue de la fission	1	0
H	Production électrique sur base de l'énergie thermique (0.5 point pour énergie électrique + 1 si explicitation du passage entre énergie thermique, mécanique et électrique)	1.5	0,5
Total ... /10			3,75

2. Schématise le principe de la cascade de fissions nucléaires ! N'oublie pas de nommer chaque composante de ton schéma.

Item	Critère(s)	Pondération	Note
I	Justesse du schéma et complétude des étapes (nom - moitié + dessin moitié)		
	i.1. Uranium 235/atome nucléaire	1	1
	i.2. Neutron	1	1
	i.3. Bombardement	1	0,5
	i.4. Fragmentation/Fission	1	1
	i.5. Nucléides/fragments/atomes fils	1	1
	i.6. Cascade	3	1,5
	i.7. Production de chaleur	1	0
J	Chronologie	1	1
Total ... /10			7

3. Exemplifie les différentes étapes de la production électrique d'une centrale nucléaire en les schématisant. Nomme chaque composante de ton schéma et n'oublie pas d'organiser celui-ci chronologiquement.

Item	Critère(s)	Pondération	Note
K	Justesse du schéma et complétude des étapes (nom - moitié + dessin moitié)		
	k.1. Combustible nucléaire	1	0

Page | 1

	k.2. Réacteur +fission	1	0,75
	k.3. Production de chaleur	1	1
	k.4. Fluide/eau	1	4
	k.5. Vapeur	1	1
	k.6. Turbine	1	1
	k.7. Alternateur	1	1
	k.8. Condensateur	1	0
	k.9. Retour du fluide/eau en début de cycle	1	0
L	Chronologie	1	1
		Total ... /10 6,75	

4. L'image que nous avons tous des centrales nucléaires est leur(s) grande(s) tour(s) dégageant de la fumée, comme sur la photo ci-dessous. Selon toi, la fumée qui se dégage de ces tours est-elle polluante ? Explique le plus clairement possible ton avis.

Item	Critère(s)	Pondération	Note
M	Non, pas polluant	2	2
N	Quoi ? Vapeur d'eau	3	3
O	Provenance ? Tour de refroidissement	2	0
P	Fonction ? Refroidissement du réacteur/des fluides au sein du condensateur	2	0
Q	Pas de contact entre l'eau et la matière fissile/radioactive	1	0
		Total ... /10 5	

5. En sachant que le principe de base à l'origine des bombes nucléaires est la fission nucléaire. Peux-tu expliquer avec tes mots ce qui provoque l'explosion de ces bombes ?

Item	Critère(s)	Pondération	Note
R	Assemblage des matériaux permettant la fission	2	2
S	Réaction en chaîne importante	3	0
T	Fission non contrôlée	2	0
U	Dégagement (libération) important d'énergie sur un court laps de temps => explosion	3	1,5
		Total ... /10 3,5	

Informations personnelles**Numéro de code :** MADU2808

2 premières lettres du prénom + 2 première lettres du nom + jour de naissance + mois de naissance

Nom : .**Prénom :****Sexe :** Homme Femme**Age :** 16 ans**Type d'enseignement fréquenté :** Secondaire général Secondaire technique Secondaire professionnel**Année d'étude :** 5^{ème}**Options/orientation :****Nom de l'établissement scolaire :**

Atsionie d'Andenne

Langue maternelle

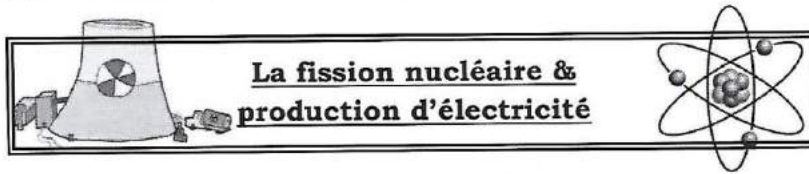
Quelques questions sur la fission nucléaire

Réponds à cette question après avoir lu le texte fourni avec ce questionnaire. Attention, il est important que tu répondes à cette question sans retourner à ton texte.

1. Retranscris tous les éléments relatifs à la fission et à l'énergie nucléaire dont tu te souviens après cette lecture ?

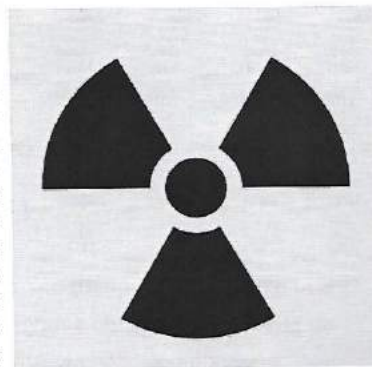
La fission nucléaire est la division d'une molécule en deux apportant un neutron bien spécifique, cette réaction qui se passe dans un réacteur ou produit de la chaleur et de la vapeur, la vapeur va ensuite être utilisée pour être réutilisée.

Numéro de code : MA DU 2 2 22
(2 premières lettres du prénom + 2 premières lettres du nom + jour de naissance + mois)



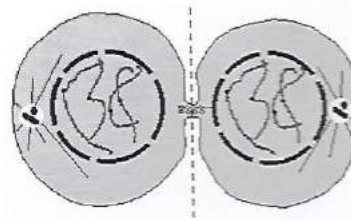
La fission nucléaire est la réaction à l'origine de la production d'énergie nucléaire. En effet, une centrale nucléaire produit de l'énergie électrique sur base de combustibles nucléaires ; c'est-à-dire sur base d'atomes dont le noyau a la capacité de se casser sous l'action d'un neutron, et, ce faisant, de libérer une quantité considérable d'énergie. Ce fractionnement du noyau de l'atome nucléaire s'appelle la fission nucléaire. Les principaux atomes pouvant subir ces fissions sont l'uranium 233, l'uranium 235, le plutonium 239 et le plutonium 241.

Ce combustible nucléaire est placé au cœur du réacteur dans lequel il est bombardé par plusieurs neutrons se déplaçant à la vitesse adéquate. Quand un noyau d'uranium 235 absorbe un neutron, il se fractionne en deux fragments ; cette fission génère une grande quantité d'énergie sous forme de chaleur. Chaque fission produit à son tour des neutrons d'énergie élevée qui, en se déplaçant parmi les atomes d'uranium 235 peuvent provoquer la fission d'un nouveau noyau d'atome d'uranium 235 et générer ainsi des réactions en chaîne ; qu'on appelle cascade de fissions. Précisions, que dans nos centrales nucléaires cette réaction en chaîne est contrôlée afin d'éviter qu'elle prenne des proportions énormes et provoquent des incidents. La fission d'un gramme d'uranium produit plus de chaleur que la combustion d'une tonne de pétrole.



Le réacteur nucléaire récupère alors cette chaleur et l'utilise pour chauffer un fluide et produire de la vapeur. Cette vapeur passe ensuite par des turbines qui, en tournant, produisent de l'énergie mécanique transformée en énergie électrique par un alternateur. Pour finir, la vapeur passe par un condensateur afin de redevenir liquide ; ce liquide passera ensuite dans un conduit au sein de la tour de refroidissement dans laquelle il est refroidit avec de l'eau. Après avoir été refroidit, le fluide pourra être réutilisé.

La fission nucléaire à l'origine de la production électrique des centrales nucléaires est comparable à la division cellulaire (ou scissiparité cellulaire). En effet, par la scissiparité, la cellule se reproduit de façon asexuée en se divisant en deux ; deux organismes identiques entre eux et identiques à l'organisme mère. Bombardés par un neutron, les atomes nucléaires se fragmentent également en deux morceaux ; néanmoins, contrairement à la division cellulaire, la fission nucléaire est à la base d'une réaction en chaîne produisant de la chaleur qui peut être utilisée par les centrales nucléaires pour produire de l'électricité.

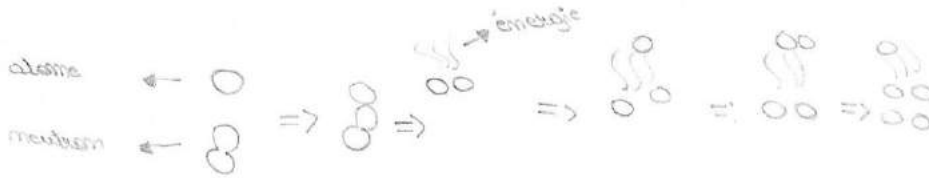


Numéro de code : M A D U 2 8 0 8

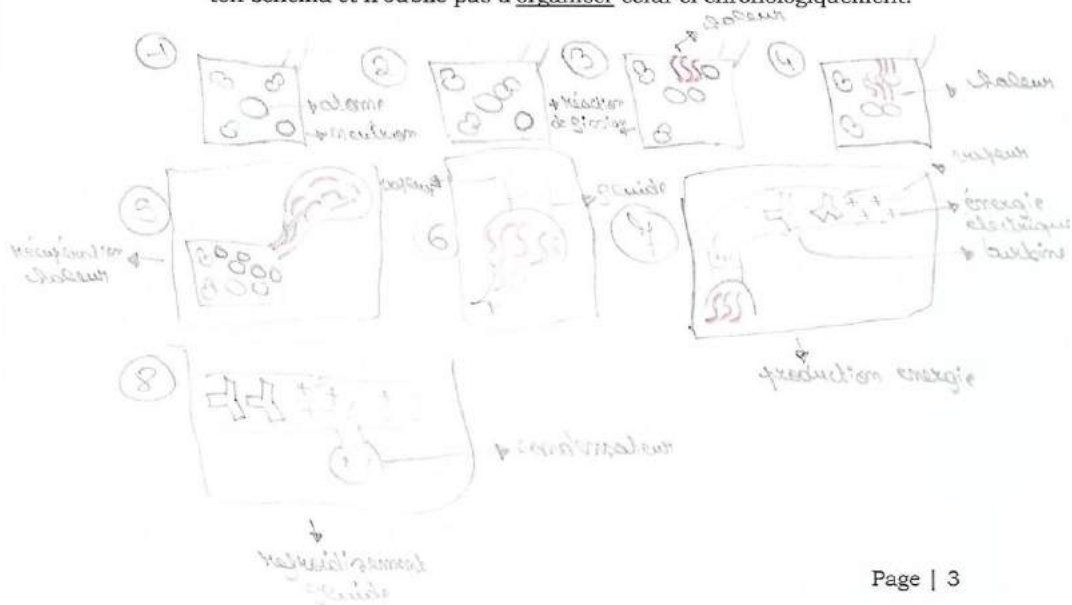
(2 premières lettres du prénom + 2 premières lettres du nom + jour de naissance + mois)

Pour les questions suivantes, tu peux réutiliser ton texte !

2. Schématise le principe de la cascade de fissions nucléaires ! N'oublie pas de nommer chaque composante de ton schéma.



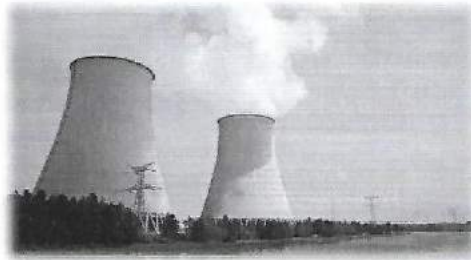
3. Exemplifie les différentes étapes de la production électrique d'une centrale nucléaire en les schématisant. Nomme chaque composante de ton schéma et n'oublie pas d'organiser celui-ci chronologiquement.



Numéro de code : M A D U 2 2 0 8

(2 premières lettres du prénom + 2 premières lettres du nom + jour de naissance + mois)

4. L'image que nous avons tous des centrales nucléaires est leur(s) grande(s) tour(s) dégageant de la fumée, comme sur la photo ci-dessous. Selon toi, la fumée qui se dégage de ces tours est-elle polluante ? Explique le plus clairement possible ton avis.



non, je pense que ce qui en sort est l'eau
sous forme de vapeur qui a servi
de refroidisseur pour des circuits chauds.

5. En sachant que le principe de base à l'origine des bombes nucléaires est la fission nucléaire. Peux-tu expliquer avec tes mots ce qui provoque l'explosion de ces bombes ?

~~En lançant une bombe au neutron et un atome~~
~~de cadaver~~ me suis pas.

Grille d'évaluation

1. Retranscris tous les éléments relatifs à la fission et à l'énergie nucléaire dont tu te souviens après cette lecture ?

Item	Critère(s)	Pondération	Note
A	Atomes ou combustibles nucléaire (général 0.5 + 0.25 par spécifique)	1.5	0
B	Neutron	1	1
C	Bombardement	1	0
D	Fractionnement/fission	1	1
E	Réaction en chaîne	1	0
F	Énergie thermique issue des cascades de fission	2	2
G	Centrale récupère la chaleur issue de la fission	1	1
H	Production électrique sur base de l'énergie thermique (0.5 point pour énergie électrique + 1 si explicitation du passage entre énergie thermique, mécanique et électrique)	1.5	0
Total ... /10			5

2. Schématise le principe de la cascade de fissions nucléaires ! N'oublie pas de nommer chaque composante de ton schéma.

Item	Critère(s)	Pondération	Note
I	Justesse du schéma et complétude des étapes (nom - moitié + dessin moitié)		
	i.1. Uranium 235/atome nucléaire	1	1
	i.2. Neutron	1	1
	i.3. Bombardement	1	0
	i.4. Fragmentation/Fission	1	0,5
	i.5. Nucléides/fragments/atomes fils	1	0
	i.6. Cascade	3	1,5
	i.7. Production de chaleur	1	1
J	Chronologie	1	1
Total ... /10			6

3. Exemplifie les différentes étapes de la production électrique d'une centrale nucléaire en les schématisant. Nomme chaque composante de ton schéma et n'oublie pas d'organiser celui-ci chronologiquement.

Item	Critère(s)	Pondération	Note
K	Justesse du schéma et complétude des étapes (nom - moitié + dessin moitié) k.1. Combustible nucléaire	1	1

Page | 1

	k.2. Réacteur +fission	1	0,5
	k.3. Production de chaleur	1	1
	k.4. Fluide/eau	1	1
	k.5. Vapeur	1	1
	k.6. Turbine	1	1
	k.7. Alternateur	1	0
	k.8. Condensateur	1	1
	k.9. Retour du fluide/eau en début de cycle	1	0
I	Chronologie	1	1
		Total ... /10	7,5

4. L'image que nous avons tous des centrales nucléaires est leur(s) grande(s) tour(s) dégageant de la fumée, comme sur la photo ci-dessous. Selon toi, la fumée qui se dégage de ces tours est-elle polluante ? Explique le plus clairement possible ton avis.

Item	Critère(s)	Pondération	Note
M	Non, pas polluant	2	2
N	Quoi ? Vapeur d'eau	3	3
O	Provenance ? Tour de refroidissement	2	0
P	Fonction ? Refroidissement du réacteur/des fluides au sein du condensateur	2	2
Q	Pas de contact entre l'eau et la matière fissible/radioactive	1	0
		Total ... /10	7

5. En sachant que le principe de base à l'origine des bombes nucléaires est la fission nucléaire. Peux-tu expliquer avec tes mots ce qui provoque l'explosion de ces bombes ?

Item	Critère(s)	Pondération	Note
R	Assemblage des matériaux permettant la fission	2	2
S	Réaction en chaîne importante	3	0
T	Fission non contrôlée	2	0
U	Dégagement (libération) important d'énergie sur un court laps de temps → explosion	3	0
		Total ... /10	2

9.17. Annexe n°17 – résultats des analyses complémentaires sur l'impact du sexe des sujets dans notre étude

9.17.1. Statistiques descriptives groupées selon le sexe des sujets

Tableau 71 : statistiques descriptives pour le sous-effectif "femme"

Variable	Sexe=Femme Statistiques Descriptives (Données recueillies sans mortalité)					
	N Actifs	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	Ecart-type
Tot 1	139	4,341727	4,000000	0,00	9,25000	2,288745
Tot 2	139	5,816547	6,000000	0,00	10,00000	1,889275
Tot 3	139	6,124245	6,500000	0,00	10,00000	2,188888
Tot 4	139	3,857554	5,000000	0,00	9,00000	2,896447
Tot 5	139	3,540000	3,500000	0,00	8,00000	2,116943

Tableau 72 : statistiques descriptives pour le sous-effectif "homme"

Variable	Sexe=Homme Statistiques Descriptives (Données recueillies sans mortalité)					
	N Actifs	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	Ecart-type
Tot 1	82	5,262195	5,500000	0,00	9,75000	2,521176
Tot 2	82	6,182927	6,500000	0,00	9,50000	1,718656
Tot 3	82	6,512195	7,000000	0,00	10,00000	2,248080
Tot 4	82	4,878049	5,000000	0,00	10,00000	2,709791
Tot 5	82	4,243902	4,500000	0,00	10,00000	2,204434

9.17.2. Test T classique de comparaison des deux groupes

Tableau 73 : Test T classique de comparaison entre le groupe "femme" et le groupe "homme" selon les 5 variables dépendantes évaluées

Variable	Tests t ; Classmt : Sexe (Données recueillies sans mortalité) Groupe1: Femme Groupe2: Homme										
	Moyenne Femme	Moyenne Homme	Valeur t	dl	p	N Actifs Femme	N Actifs Homme	Ecart-Type Femme	Ecart-Type Homme	Ratio F Variances	p Variances
Tot 1	4,341727	5,262195	-2,78056	219	0,005899	139	82	2,288745	2,521176	1,213421	0,317480
Tot 2	5,816547	6,182927	-1,43935	219	0,151478	139	82	1,889275	1,718656	1,208405	0,353170
Tot 3	6,124245	6,512195	-1,26012	219	0,208966	139	82	2,188888	2,248080	1,054815	0,774294
Tot 4	3,857554	4,878049	-2,59072	219	0,010221	139	82	2,896447	2,709791	1,142509	0,515583
Tot 5	3,540000	4,243902	-2,35152	219	0,019584	139	82	2,116943	2,204434	1,084366	0,669529

9.17.3. Test U de Mann-Whitney

Tableau 74 : Test U de Mann-Whitney de comparaison entre le groupe "femme" et le groupe "homme" selon les 5 variables dépendantes évaluées

Test U de Mann-Whitney (+ correction de continuité (Données recueillies sans mortalité)
 Par var. Sexe
 Tests significatifs marqués à p <,05000

variable	SommeRgs Femme	SommeRgs Homme	U	Z	valeur p	Z ajusté	valeur p	N Actif Femme	N Actif Homme
Tot 1	14190,00	10341,00	4460,000	-2,69709	0,006995	-2,69926	0,006950	139	82
Tot 2	14822,00	9709,00	5092,000	-1,32078	0,186576	-1,32825	0,184095	139	82
Tot 3	14750,50	9780,50	5020,500	-1,47649	0,139814	-1,47854	0,139263	139	82
Tot 4	14295,00	10236,00	4565,000	-2,46843	0,013571	-2,52348	0,011620	139	82
Tot 5	14430,00	10101,00	4700,000	-2,17444	0,029673	-2,18190	0,029117	139	82

Abstract

A travers l'histoire, philosophes et scientifiques se sont succédé dans l'entreprise complexe destinée à concevoir un modèle explicatif global de la pensée humaine. A l'aube de ce siècle, de nombreux chercheurs – tels que D. Hofstadter et E. Sander (2013 ; 2014) – défendent l'idée que l'analogie est au cœur même de la cognition. Or, depuis lors de nombreuses recherches ont abouti à des résultats contrastés quant à l'efficacité de ce processus, originellement rhétorique, sur l'apprentissage (Bean, Singer & Cowen, 1985 ; Hidi, 1990 ; McDaniel & Donnelly, 1996 ; ...) ; ce qui rend nécessaire la recherche et la réflexion quant aux conditions d'efficacité des analogies sur des variables dépendantes telles que la mémorisation, la compréhension et le transfert. Notre étude quasi-expérimentale part du postulat que la distance sémantique qu'une analogie entretient entre sa source et sa cible est le déterminant de son efficacité pédagogique. Elle met à l'épreuve cette hypothèse en comparant les résultats obtenus par des étudiants de la fin du secondaire général à des questions ouvertes relatives à la compréhension, la mémorisation et le transfert d'un concept qui leur a été présenté sur base d'un matériel textuel étayé soit par une reformulation, soit par un exemple, soit par différentes analogies qui se distinguent de par leur distance sémantique. Nos résultats semblent montrer une supériorité de l'analogie distale – analogie qui entretient une distance sémantique forte entre sa cible (issue d'un domaine spécifique) et sa source (issue d'une expérience de la vie de tous les jours) – sur les documents traditionnels de cours. Les analogies entretenant des distances sémantiques moins éloignées entre leur cible et leur source ne semblent pas différer des documents traditionnels de cours en termes d'efficacité sur les apprentissages.

Throughout history, philosophers and scientists succeeded each other in the complex enterprise of conceiving a global and explicative model of human thought. At the dawn of this century, many researchers – such as D. Hofstadter and E. Sander (2013 ; 2014) – advocate that analogy is at the heart of cognition itself. However, plenty of researches have since then been carried out and resulted in mixed outcomes about the effectiveness of this process on learning (Bean, Singer & Cowen, 1985 ; Hidi, 1990 ; McDaniel & Donnelly, 1996 ; ...) ; which necessitate further research and reflection on conditions under which analogies are effective on dependent variables such as memorisation, comprehension and transfer. Our quasi-experimental study starts from the premise that the semantic distance between the source and the target of an analogy is a decisive factor of pedagogic effectivity. This hypothesis is tested in our research by comparing results that have been obtained from students at the end of their secondary schooling whom answered open-ended questions about comprehension, memorisation, and transfer of a concept that has been presented to them on the basis of textual material supported by a reformulation, an example or by other analogies that are distinguishable by their semantic distance. Our results seem to highlight the superiority of the distal analogy – analogy which has a strong semantic distance between its target (stemming from a specific domain) and its source (stemming from daily life experience) – on mainstream course documents. Analogies that are semantically closer to their target and source don't seem to differ from mainstream course documents in terms of learning effectiveness.