جامعة سيدي محمد بن عبد الله بفاس
UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDALLAH DE FES
كلية العلوم ظهر المهراز فاس
FACULTE DES SCIENCES DHAR EL MEHRAZ FES



N° d'Ordre : 08 /20

Formation Doctorale : *Didactique des Sciences et Ingénierie Pédagogique*

Discipline : *Didactique des Sciences.*

Spécialité : *Didactique des Sciences de la Vie et de la Terre.*

Laboratoire : *Laboratoire de Didactique et d'Innovation Pédagogique et Curriculaire (LADIPEC)*

THESE DE DOCTORAT

Présentée par

Ihsane KOUCHOU

LA NEUROTRANSMISSION : Des principes et Conceptions aux obstacles d'apprentissage au premier cycle universitaire.

Soutenue le 08/02/2020 devant le jury composé de :

Pr. Seloua EL OUEZZANI TAYBI	***Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, Fès.***	***Président***
Pr. Mohamed OUDRHIRI HASSANI	***Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, Fès.***	***Rapporteur***
Pr. Rachid JANATI IDRISSI	***Ecole Normale Supérieure de Tétouan.***	***Rapporteur***
Pr. Younes FILALI ZEGZOUTI	***Faculté des Sciences. Université Moulay Ismail, Meknès.***	***Rapporteur***
Pr. Saad BENAMAR	***Ecole Normale Supérieure de Fès.***	***Examinateur***
Pr. Fatiha KADDARI	***Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, Fès.***	**Directrice de thèse**
Pr. Nezha BENNIS	***Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, Fès.***	**Co-Directrice de thèse**

Année universitaire : 2019-2020

Dédicace

A mes parents qui sont à l'origine de ce que je suis ;

A mes sœurs : Aziza et Majda, qui m'encouragent et me supportent ;

A mon mari Zouhair qui me soutient,

A ma belle-famille,

A mes amis (es) ;

A tous ce qui me sont chers ;

Au lecteur

Remerciements

Ce travail a été mené à terme dans le Laboratoirede Didactique et d'Innovation Pédagogique et Curriculaire (LADIPEC), à la Faculté des Sciences Dhar El Mahraz de Fès.

J'adresse mes vifs remerciements à mes deux directrices de thèse, Professeur Fatiha KADDARI et Professeur Nezha BENNIS, qui m'ont fait l'honneur de diriger ce travail et leur exprime ma reconnaissance pour la confiance qu'elles m'ont accordée, pour leurs conseils et leurs réflexions avisées qui ont contribué dans la réalisation de cette thèse et aussi pour leur soutien sans faille tout au long de ces années et les encouragements qu'elles m'ont prodigué et qui m'ont poussé à approfondir et à finaliser ce travail. Finalement je ne trouve pas les mots pour vous exprimer ma sincère reconnaissance.

Je remercie sincèrement tous les membres du jury d'avoir accepté d'examiner ce travail malgré leurs innombrables occupations.

Ma reconnaissance et ma sympathie sont assurées à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Résumé

Dans les sciences de la vie, les sciences du cerveau sont l'une des aventures scientifiques les plus riches et les plus surprenantes du XX^{e} siècle. L'histoire de la neurotransmission est à la fois une histoire de la formation du neurotransmetteur et de l'opposition de deux théories, l'une électrique et l'autre chimique. Les fondements de cette théorie sont perçus par les étudiants comme ardus et difficile à assimiler.

Cette recherche en didactique s'inscrit dans une problématique curriculaire générale. Elle consiste en une double analyse épistémologique et didactique du fonctionnement du concept de la neurotransmission, qui va de la réflexion sur les processus de sa construction chez les savants à travers l'histoire jusqu'à l'identification des problèmes qui se posent lors de son enseignement/apprentissage. Nous avons conjugué deux analyses indispensables dans le travail didactique. En effet, l'analyse des fondements épistémologiques et didactiques de la neurotransmission nous a montré que l'histoire de ce concept n'est ni linéaire ni théoriquement isolée. Aussi, l'évolution dans sa transposition didactique au cours des années a mis en évidence une différence dans les démarches d'introduction et d'enseignement de ce contenu. L'analyse des conceptions des étudiants de la deuxième année du premier cycle universitaire de la filière Sciences de la Vie nous a permis de mettre en évidence une pléiade de difficultés et d'obstacles d'ordre conceptuels et langagiers. L'ensemble des résultats issus des expérimentations réalisées, nous a mené à adopter une démarche pédagogique interactive dans l'apprentissage de la neurotransmission à l'université. En effet, cette démarche a eu un en effet positif sur l'évolution des conceptions des étudiants dans le sens de construire un savoir scientifique adéquat et cohérent de la neurotransmission.

Mots clés : Neurotransmission, conception, transposition didactique, évolution, démarche pédagogique, théorie électrique, théorie chimique.

Abstract

In Life Sciences, the brain sciences are one of the richest and most surprising scientific adventures of the twentieth century. The neurotransmission history is both, history of neurotransmitter formation and an opposition of two theories, an electric and chemical one. The foundations of this theory are perceived by students as arduous and difficult to assimilate.

This didactic research is keeping with curriculum problematic. It consists of a double epistemological and didactic analysis of neurotransmission concept functioning, which starts from reflection on the processes of its construction among scientists throughout the history until the identification of their teaching / learning problems. We conjugated two indispensable didactic analyses. Indeed, the analysis of the epistemological and didactic foundations of neurotransmission showed us that the history of this concept is not linear and not theoretically isolated. Also, the evolution in its didactic transposition over the years has highlighted a difference in the approaches to the introduction and teaching of this content. The analysis of the first two years' students conceptions (second year) in the Life Sciences stream at University allowed us to highlight a plethora of conceptual and languages difficulties. All results obtained, allows us to adopt an interactive pedagogical approach in the learning of neurotransmission at the university. Indeed, this approach had a positive effect on the evolution of the students' conceptions of neurotransmission in order to build an adequate and coherent scientific knowledge.

Key words: Neurotransmission, conception, didactic transposition, evolution, pedagogical approach, electric theory, chemical theory.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Identification des étapes composant le premier chapitre du cours de la neurophysiologie.

Tableau 2 : Ouvrages de références analysés.

Tableau 3 : Première classe des ouvrages de référence adoptant l'entrée 1 : Notions fondamentales sur le système nerveux.

Tableau 4 : Deuxième classe des ouvrages de référence adoptant l'entrée 1 : anatomie du neurone.

Tableau 5 : Notions et concepts clés dans l'étape 0.

Tableau 6 : Notions et concepts dans l'étape 1.

Tableau 7 : Notions et concepts du Potentiel d'Action dans l'étape 2.

Tableau 8 : Notions et concepts liés à la Neurotransmission dans l'étape 2.

Tableau 9 : Définitions des concepts basiques de la neurotransmission.

Tableau 10: Pourcentages des réponses des étudiants pour chaque test pour les deux années universitaire 2015-2016 et 2016-2017.

Liste des figures

Figure 1 : Avis des étudiants concernant la langue française.

Figure 2 : L'utilité de la langue française dans les études universitaires.

Figure 3 : L'apport des cours de Langue et Terminologie dans les études universitaires.

Figure 4 : Le temps alloué à l'enseignement des cours de Langue et Terminologie à l'université.

Figure 5 : Le taux de présence ou d'absentéisme aux cours de Langue et Terminologie.

Figure 6 : La présence ou non des problèmes liés à la langue française.

Figure 7 : La nature des problèmes des étudiants en langue française.

Figure 8 : Le niveau de compréhension des cours de biologie.

Figure 9 : La nature des difficultés entravant la compréhension des cours de biologie.

Figure 10 : Pourcentages des réponses des étudiants concernant la propagation de l'influx nerveux.

Figure 11 : Pourcentages des réponses des étudiants sur la nature du message nerveux.

Figure 12 : Pourcentages des réponses des étudiants à propos de la structure responsable de la transmission de l'influx nerveux.

Figure 13 : Pourcentages des réponses des étudiants concernant la définition de la synapse.

Figure 14 : Pourcentages des réponses des étudiants sur le nombre du type fonctionnel de la synapse.

Figure 15 : Pourcentages des réponses des étudiants concernant le schéma de la synapse.

Figure 16 : Pourcentages des réponses des étudiants concernant la définition du neurone.

Figure 17 : Pourcentages des réponses des étudiants à propos du schéma de neurone.

Figure 18 : Pourcentages des réponses des étudiants sur la définition du neurotransmetteur

Figure 19 : Pourcentages des réponses des étudiants sur la définition de la neurotransmission.

Figure 20 : Réponses des enseignants s'ils ont déjà entendu parler de la Démarche d'Investigation.

Figure 21 : La définition de la Démarche d'Investigation.

Figure 22 : Pourcentages des réponses des enseignants concernant la formation continue sur la Démarche d'Investigation.

Figure 23 : L'adoption ou non de la Démarche d'Investigation dans les enseignements du secondaire.

Figure 24 : Les contraintes qui limitent l'adoption de la Démarche d'Investigation.

Figure 25 : Pourcentages des réponses des étudiants concernant la propagation de l'influx nerveux.

Figure 26 : Pourcentages des réponses des étudiants sur la nature du message nerveux.

Figure 27 : Pourcentages des réponses des étudiants à propos de la structure responsable de la transmission de l'influx nerveux.

Figure 28 : Pourcentages des réponses des étudiants concernant la définition de la synapse.

Figure 29 : Pourcentages des réponses des étudiants concernant le nombre du type fonctionnel de la synapse.

Figure 30 : Pourcentages des réponses des étudiants concernant le schéma de la synapse.

Figure 31 : Pourcentages des réponses des étudiants sur la définition du neurone.

Figure 32 : Pourcentages des réponses des étudiants concernant le schéma du neurone.

Figure 33 : Pourcentages des réponses des étudiants concernant la définition du neurotransmetteur.

Figure 34 : Pourcentages des réponses des étudiants concernant la définition de la neurotransmission.

Figure 35 : Pourcentages des réponses des étudiants en amont (pré-test) et en aval (post-test) de l'enseignement de la neurotransmission.

Figure 36 : Pourcentages des réponses des étudiants en Pré-test pour les deux promotions 2015-2016 et 2016-2017.

Figure 37 : Pourcentages des réponses des étudiants en Post-test pour les deux promotions 2015-2016 et 2016-2017.

Sommaire

Remerciements
Résumé
Abstract
Liste des tableaux
Liste des figures

Introduction générale 1

Chapitre I : Problématique et motivation de la recherche 5

Introduction 6

I. Motivation de la recherche 7

I.1. Neurosciences et éducation 8

I.2. Neurosciences dans le cursus éducatif marocain 9

II. Concept de la neurotransmission 9

III. Question et hypothèses de recherche 11

Chapitre II : Conceptions, démarches pédagogiques et transposition didactique, les trois concepts à articuler. 14

Introduction 15

I. Conceptions et apprentissage 15

I.1. Conceptions ou conceptions alternatives 15

I.2. Prise en compte des conceptions dans les apprentissages 17

I.3. Importance de l'étude des conceptions 18

I.4. Changement conceptuel 19

II. Démarches pédagogiques 22

II.1. Pédagogie active 22

II.2. Démarche d'Investigation 23

III. Transposition didactique 24

III.1. Transposition: retour aux sources 24

III.2. Etapes de la transposition didactique 25

III.3. Transposition didactique au niveau de l'enseignement supérieur 26

Conclusion 27

Chapitre III : Méthodologie générale de travail 28

Introduction 29

I. Analyse documentaire 29

II. Enquête par questionnaire 29

II.1. Plan des expérimentations 31
II.2. Population cible 33
II.3. Conditions de passation du questionnaire 34
II.4. Traitement des données 34
Conclusion 35
Chapitre IV : Histoire et épistémologie de la Neurotransmission 36
Introduction 37
I. Age préscientifique : Rationalisme naïf 38
II. Age scientifique : Empirisme clair et positiviste 40
II.1. Naissance de l'électrophysiologie 42
II.1.1. Origines de l'électricité animale 42
II.1.2. Electrophysiologie du nerf 43
II.1.3. Théorie électrique de la neurotransmission 45
II.2. Fondements et validation de concept de la neurotransmission chimique 49
II.2.1. Naissance du concept de neurotransmetteur (1857-1921) 49
II.2.2. Développement du concept de neurotransmetteur (1921- 1936) 52
II.2.3. Résistances au concept de neurotransmetteur (1936-1952) 53
II.2.4. Maturité du concept de neurotransmetteur (1952-1970) 58
II.2.4.1. Physiologie de la synapse 58
II.2.4.2. Extension centrale 64
III. Nouvelle ère scientifique: Rationalisme complet et apparition de nouvelles disciplines . 68
III.1. Premières perspectives thérapeutiques et médicales 68
III.2. Débuts de la cartographie cérébrale 69
III.3. Elargissement du champ: Acides aminés et peptides 69
III.4. Naissance de la neurocybernétique 71
III.5. De l'activité électrique des assemblées de neurones à la création des neurosciences 71
III.6. Avancées contemporaines 71
III.7. Modélisation et simulation du fonctionnement cérébral à l'approche des neurosciences cognitives 72
Conclusion 72
Chapitre V : Savoir à enseigner et Savoir enseigné de la Neurotransmission 76
Introduction 77
I. Méthodologiede l'analyse des ouvrages de référence 77
II. Analyse des ouvrages de référence 79
II.1. Réseaux conceptuels impliqués dans les entrées en matière 79
II.2. Diagnostic des notions et concepts introduits dans les différentes étapes 85

II.2.1. Notions de l'étape 0 dans les différents ouvrages 85
II.2.2. Notions de l'étape 1 dans les différents ouvrages 87
II.2.3. Notions de l'étape 2 dans les différents ouvrages 89
II.2.4. Différentes définitions des concepts liés à la neurotransmission 94
III. Discussion et interprétation 106
IV. Savoir enseigné: Texte du savoir neurotransmission 109
IV.1. Description du contenu de la neurophysiologie de S4 110
IV.2. Texte du savoir neurotransmission de S4 dans le polycopié 2015-2016 110
IV.3. Texte du savoir neurotransmission de S4 dans le polycopié 2016-2017 111
Conclusion 111
Chapitre VI : Obstacles et difficultés de l'apprentissage de la Neurotransmission 113
Première expérimentation: Aperçu sur l'impact de la langue française sur les apprentissages des étudiants de la filière des Sciences de la Vie (SVI) 115
Introduction 116
I. Plan d'expérimentation 117
II. Résultats 117
III. Discussion 124
Conclusion 125
Deuxième expérimentation: Etude des conceptions des étudiants du premier cycle universitaire sur la neurotransmission 126
Introduction 127
I. Plan d'expérimentation 127
I.1. Description du questionnaire 130
I.2. Echantillonnage et conditions de la passation du questionnaire 131
II. Résultats 131
III. Discussion 141
Conclusion 144
Chapitre VII : Investigation et Interactivité: Deux formes d'enseignement actif 145
Troisième expérimentation: Aperçu sur les difficultés et contraintes limitant l'adoption de la Démarche d'Investigation en sciences expérimentales dans l'enseignement du secondaire qualifiant. 147
Introduction 148
I. Plan d'expérimentation 148
II. Résultats 149
III. Discussion 152
Conclusion 153

Quatrième expérimentation: Impact de l'adoption d'une démarche interactive sur l'évolution des conceptions des étudiants sur le concept de la neurotransmission 154

Introduction 155

I. Plan d'expérimentation 155

I.1. Descriptif de la démarche pédagogique adoptée 155

I.2. Population cible 157

II. Résultats 157

III. Discussion 166

IV. Comparaison des réponses des étudiants pour les deux promotions 2015-2016 et 2016-2017 169

Conclusion 172

Conclusion générale: Bilan & Propositions 174

Références bibliographiques 187

ANNEXES 212

Annexe 1: Questionnaire sur la langue française soumis aux étudiants de la filière Sciences de la Vie 213

Annexe 2: Questionnaires soumis aux étudiants sur la neurotransmission durant les deux années universitaires 2015-2016 & 2016-2017 216

Annexe 3 : Questionnaire sur la Démarche d'Investigation soumis aux enseignants du secondaire qualifiant de la ville de Fès. 221

Introduction générale

Cette recherche s'inscrit dans le cadre d'une réflexion générale sur l'enseignement/Apprentissage des sciences qui vise la recherche des nouveaux moyens et outils pédagogiques d'enseignement susceptibles d'améliorer les apprentissages et réduire la situation d'échec. Elle entre plus particulièrement dans la lignée des travaux en didactique des disciplines sciences de la vie et de la terre ayant pour finalité l'étude des difficultés et obstacles liées à l'apprentissage de ce champ disciplinaire.

Les investigations sur l'enseignement /apprentissage des sciences du cerveau en général et de la neurotransmission en particulier sont relativement inexplorées comparativement à d'autres thématiques des sciences de la vie telles que la digestion, la respiration, la génétique ou la circulation sanguine. Il faut noter que ce champ de connaissance qui est le fonctionnement cérébral ne s'est vraiment développé que vers le milieu du siècle dernier avec l'émergence et l'évolution des neurosciences qui a eu un impact très significatif sur tous les champs des connaissances humaines et plus particulièrement en éducation.

Les prémices des neurosciences sont intégrées dans le cycle licence universitaire dans la discipline neurophysiologie représentant une des branches de la physiologie parmi les plus avancées et les plus actives et où les progrès sont les plus rapides. Partant de la conviction qu'on ne peut comprendre la neurophysiologie et par la suite les neurosciences sans l'intégration effective du concept de la neurotransmission, nous avons entrepris ce travail qui- comme nous l'avons déjà signalé- s'inscrit dans la lignée des travaux de recherche sur l'enseignement /Apprentissage des concepts scientifiques.

La neurotransmission, concept clé en neurosciences, permet d'apporter des éléments de réponse au fonctionnement cérébral et élucider relativement sa complexité extrême. Ce concept est introduit dans l'enseignement secondaire où les notions de base sont présentées via une transposition didactique adaptée au niveau cognitif des élèves. L'approfondissement de ces notions se poursuit à l'université via un cours au début du cycle licence.

Profondément abstraites et très complexes, les notions de la neurotransmission sont perçues comme difficiles à enseigner et encore plus difficiles à s'approprier. Les étudiants sont confrontés à des multiples obstacles pour comprendre le concept de la neurotransmission ainsi que ses concepts organisateurs.

L'objectif de ce travail est donc de contribuer à clarifier la nature de certaines contraintes et obstacles qui pèsent sur l'enseignement/ apprentissage du concept de la neurotransmission et

sur la lumière de cela, proposer une démarche possible pour l'assimilation et l'acquisition de ce contenu.

Notre recherche consiste en analyses scientifique, épistémologique et didactique du concept de la neurotransmission. Elle va de la réflexion sur la construction de ce savoir chez les savants, à l'identification des problèmes et obstacles potentiels rencontrés lors de son enseignement et son apprentissage à l'université et cela en passant par la réflexion sur son insertion dans le circuit éducatif.

Afin d'élargir notre champ d'investigation et rendre compte de l'influence du contexte social sur l'apprentissage des concepts scientifiques en général et celui de la neurotransmission en particulier. Nos expérimentations ont été menées auprès des étudiants du semestre 4 de la filière Sciences de la Vie à l'université Sidi Mohamed Ben Abdellah (Faculté des Sciences Dhar El Mahraz) et aussi on a mené une expérience auprès des enseignants de secondaire qualifiant de la ville de Fès.

Notre travail sera exposé selon le plan suivant :
Dans le **chapitre I**, sont exposées les motivations à l'origine de ce travail, les résultats de la recherche bibliographique que nous avons effectuée et à partir de laquelle nous avons formulé notre question et hypothèses de recherche.

Dans le **chapitre II**, nous avons mené une réflexion sur trois concepts, outils théoriques de notre recherche : les conceptions, les démarches pédagogiques et la transposition didactique et par la suite, nous exposons la méthodologie générale du travail, qui fera l'objet du **Chapitre III.**

Pour mieux cerner la nature d'un contenu d'enseignement, il est enrichissant de comprendre la genèse du savoir scientifique auquel il se réfère. Ainsi, une synthèse des ouvrages d'histoire des sciences et d'épistémologie, nous a permis de voir comment le concept de la neurotransmission s'est construit au cours de l'évolution de la pensée humaine, cela a fait l'objet du **chapitre IV**.

Par ailleurs, une analyse de huit ouvrages destinés à l'enseignement de la neurotransmission sur la base des grilles que nous avons élaborées, nous a permis de tracer les grandes lignes de l'histoire de l'insertion de ce contenu dans le système éducatif. De même une analyse descriptive du contenu enseigné à la Faculté des Sciences Dhar El Mahraz a été effectuée cela a fait l'objet du **chapitre V**.

Dans les deux derniers chapitres, l'intérêt est porté sur le troisième acteur de la relation didactique : l'apprenant-étudiant-.

- D'une part, pour mettre en évidence les difficultés générées par ce contenu. Dans ce sens deux expérimentations ont été réalisées, la première généraliste s'articulant autour des problèmes d'apprentissage des sciences de la vie et plus particulièrement les problèmes induits par la langue d'enseignement qui est la langue française et la deuxième expérimentation portant sur les conceptions des étudiants du premier cycle universitaire sur la neurotransmission. Les résultats de ces deux expérimentations seront exposés dans le **chapitre VI.**
- D'autre part, conformément aux objectifs et afin d'apporter des éléments de réponses au questionnement et aux hypothèses à l'origine de ce travail, nous avons effectué deux expérimentations pour recueillir des données sur les démarches pédagogiques et stratégies d'enseignement. Les résultats sont présentés dans le **chapitre VII.**

La dernière partie de cette thèse sera consacrée aux principales conclusions de notre travail et les propositions didactiques que nous avons formulées dans le cadre de la recherche de l'amélioration de l'enseignement et l'apprentissage de la neurotransmission.

Chapitre I : Problématique et motivation de la recherche

Introduction

L'enseignement supérieur, actuellement, un élément moteur de l'organisation de la société moderne suscite de plus en plus l'intérêt des chercheurs. Les problématiques étudiées et analysées sont multiples et diverses, cependant elles s'articulent toutes sur "le comment faire" pour que l'université remplisse son rôle de fournisseur principal des ressources humaines.

L'accent est mis plus particulièrement sur le phénomène de l'échec à l'université. En effet, de nombreuses études mettant en jeu le pourcentage élevé du décrochage ont été réalisées :

- ✓ à l'échelle internationale : (Trouch et al., 2011; Sauvé et al., 2009; Galand et al., 2005).
- ✓ A l'échelle nationale : malgré les différentes réformes, le nombre élevé de l'abandon dans les établissements à accès ouvert restent invariant (Lakdime, 2013;Zouaoui, 2005; Akrim et al., 2006)

En effet, l'échec qui constitue un indicateur puissant du rendement et de la qualité d'un système éducatif (Bernard, 1997), peut se traduire par le nombre très élevé d'étudiants quittant le système éducatif, le faible taux de réussite, l'écart important entre le nombre des diplômés sortant et les nouveaux inscrits.

Quant aux causes et origines du phénomène de l'échec, on peut dire qu'elles ont été abordées par plusieurs chercheurs. Ainsi, dans son rapport de 2007, l'Académie des Sciences françaises explique le phénomène par quatre hypothèses :

- L'hétérogénéité du niveau scientifique des diplômés du Baccalauréat.
- La très mauvaise connaissance par les étudiants de la nature des études dans l'enseignement supérieur ainsi que les pré-requis nécessaires pour suivre avec profit les enseignements délivrés.
- Le manque d'encadrement des étudiants à l'université, surtout que le mode à l'université demande un travail personnel autonome important auquel les apprenants sont peu habitués.
- Les difficultés matérielles.

Selon la recherche bibliographique effectuée, l'échec au supérieur se situe plutôt au niveau des premières années. Les chercheurs parlent des difficultés de la transition secondaire-supérieur et énumèrent plusieurs causes: la distribution dans les différentes filières fortement marquées par l'origine socio-économique et culturelle des apprenants (De Meulemeester,

2001), la *situation matérielle* (Turner 2004), *la non adaptation du jeune étudiant issu du secondaire à* son nouveau métier d'étudiant (Romainville, 2002).

Si les causes sont multiples et variées, on note que la majorité des chercheurs incriminent les acquis antérieurs des apprenants (Turner, 2004; Cormier, 2013; Abraham, Perez & Price, 2014; Kampourakis, Silveira & Strasser, 2016).

Les facteurs d'échec relatifs aux contenus et aux méthodes de leur acquisition s'avèrent encore plus déterminants dans les processus de formation dans le domaine des sciences dites « exactes ». Les chercheurs parlent même de "*l'échec de l'enseignement scientifique*" (Giordan, 1987) et stipulent que *"l'apprentissage des contenus à caractère scientifique pose un problème à tous les ordres d'enseignement, depuis le primaire jusqu'à l'université et comme le suggèrent certains travaux, cela se poursuivait même au-delà des études universitaires*" (Larochelle et al., 1993).

La problématique de l'enseignement/Apprentissage des sciences a fait émerger un domaine de recherche qui est la didactique des sciences. Ce domaine qui ne cesse de se développer depuis la fin du siècle dernier, s'intéresse aux processus de transmission/appropriation de connaissances scientifiques dans toute situation (Clément, 2004). Il vise la précision des objectifs de l'enseignement scientifique, le renouvellement des méthodologies et aussi l'amélioration des conditions d'apprentissage des apprenants (Ndong, 2007).

Le travail présenté ici s'inscrit dans la lignée decette recherche en didactique des sciences, le concept sujet de l'étude est un contenu particulier en biologie : la neurotransmission.

I. Motivation de la recherche

Les investigations sur l'enseignement /apprentissage des sciences du cerveau en général et de la neurotransmission en particulier sont relativement inexplorées comparativement à d'autres thématiques des sciences de la vie telles que la digestion, la respiration, la génétique ou la circulation sanguine. Il faut noter que ce champ de connaissance qui est le fonctionnement cérébral ne s'est vraiment développé que vers le milieu du siècle dernier avec l'émergence et l'évolution des neurosciences. En effet, les neurosciences se positionnent de plus en plus comme une science à la confluence de bien d'autres sciences. Elles consistent en un champ de connaissances rassemblant toutes les disciplines scientifiques ayant pour objet de recherche l'exploration du système nerveux et de son fonctionnement (Clarac & Ternaux, 2008).

L'évolution des neurosciences a eu un impact très significatif sur tous les champs des connaissances humaines et plus particulièrement en éducation.

I.1. Neurosciences et éducation

Même si la complexité du fonctionnement cérébral rend difficile l'établissement des liens de causalité entre les éléments biologiques et le comportement (Tardif & Doudin, 2016). Les neurosciences prises dans un contexte plus large permettent une vue d'ensemble très intéressante de certaines fonctions cognitives sollicitées en milieu éducatif (Ansari & Coch, 2006; Fischer, Gosswami & Geake, 2010; Tardif & Doudin, 2011). De ce fait, le nombre de chercheurs œuvrant pour exploiter les avancées en neurosciences et en éducation est de plus en plus nombreux. Ces chercheurs ont pour objectif de créer un cadre conceptuel et méthodologique commun pour soutenir les systèmes d'enseignement. Autrement dit, dans le monde des sciences de l'éducation, même s'il est manifesté un scepticisme sur la valeur des neurosciences et leur utilité pour mieux comprendre la cognition et l'apprentissage (Bruer, 1997; Churchland, 1980), les recherches sur le cerveau et sur l'activité neuronale s'avèrent d'intérêt fondamental pour les éducateurs et les enseignants (Campbell & Pagé, 2012).

En effet, ces recherches ont conduit à des progrès considérables dans la compréhension des processus mis en jeu dans les apprentissages, progrès qui ont marqué l'entrée dans le 21e siècle.Ainsi par exemple une nouvelle discipline concrétisant le croisement des neurosciences cognitives, de la psychologie du développement et des sciences de l'éducation est née, il s'agit de la neuroéducation (Lanoë et al., 2015). La neuroéducation désigne un vaste domaine de recherche qui se situe à l'intersection des neurosciences, de la psychologie et du domaine de l'éducation, elle étudie le rôle des connaissances sur le fonctionnement du cerveau en éducation (Masson, 2007). En fait, elle essaye d'utiliser les avancées en neurosciences cognitives pour proposer de meilleures stratégies d'enseignement/apprentissage et fournir des programmes scolaires innovants et de nouveaux supports pédagogiques pouvant contribuer à améliorer les apprentissages.

Enfin, on peut donc dire qu'actuellement les neurosciences ne sont plus un domaine de connaissance réservé aux spécialistes mais plutôt un domaine intervenant dans plusieurs champs, ce qui justifie qu'il est de plus en plus considéré comme un contenu de base dans les formations initiales en sciences de la vie.

I.2. Neurosciences dans le cursus éducatif marocain

Les prémices des neurosciences sont intégrées dans le cycle licence universitaire dans la discipline neurophysiologie représentant une des branches de la physiologie parmi les plus avancées et les plus actives et où les progrès sont les plus rapides (Laget, 1981). En fait, ils'agit d'un domaine de recherche caractérisé par de grandes difficultés techniques qui, lorsqu'elles ont été surmontées, ont donné lieu à de grandes découvertes sur le fonctionnement cérébral (Debru, 1999), telles que la cartographie cérébrale, neurosciences cognitives,…

L'importance de ce contenu fait qu'il soit un concept fondamental en biologie (Dupont, 1999). Il est introduit dans l'enseignement du secondaire au niveau de la première année du Baccalauréat des Sciences de la Vie et de la Terre, où les notions de base sont présentées via une transposition didactique adaptée au niveau cognitif des élèves. L'approfondissement de ces notions se poursuit à l'université via un cours au début du cycle licence. La finalité de ce cours est:

- d'une part permettre aux étudiants de comprendre que le maintien de l'intégrité et de l'identité d'un organisme demande une modulation et un contrôle de son fonctionnement et cela en mobilisant divers moyens de communication intercellulaires assurant les transferts d'informations nécessaires;
- d'autre part d'acquérir les notions fondamentales concernant la physiologie des éléments excitables et la communication intercellulaires (cellules nerveuses, cellules musculaires et cellules endocrines).

Partant de la conviction qu'on ne peut comprendre la neurophysiologie et par la suite les neurosciences sans l'intégration effective du concept de la neurotransmission, nous avons entrepris ce travail qui-comme nous l'avons déjà signalé-s'inscrit dans la lignée des travaux de recherche sur l'enseignement /Apprentissage des concepts scientifiques.

II. Concept de la neurotransmission

La neurotransmission, concept clé en neurosciences, permet d'apporter des éléments de réponse au fonctionnement cérébral et élucider relativement sa complexité extrême.

L'exploration documentaire et la recherche bibliographique effectuée pour amorcer ce travail a mis en évidence -à priori- la rareté des études sur la thématique. Les données de cette

exploration montrent que le concept de la neurotransmission et ses concepts organisateurs présentent des difficultés d'acquisition. En fait, les apprenants abordent les concepts de manière séquentielle et donc n'arrivent pas à établir des liens entre les notions associées dans le but d'appréhender le concept de la neurotransmission (Bec & Favre, 1996; Beorchia, 2003; Bennour, 2004; Laribi et al., 2010).

Les travaux sur la neurotransmission et sa didactique à l'université sont encore plus rares, le travail le plus significatif est celui de Darley (1994). Ce chercheur qui a mené une recherche en France, auprès des étudiants de biologie de la deuxième année universitaire, précise dans son étude que les étudiants présentent de nombreuses confusions quand ils ont à définir ce qui est le potentiel d'action. Cela met en évidence la présence d'un ensemble d'obstacles bloquant leur acquisition du concept de la neurotransmission.

La difficulté de ce contenu est également précisée dans les ouvrages de références approfondissant le contenu d'enseignement sur la neurotransmission et qui sont destinés aux étudiants du premier cycle universitaire et des classes préparatoires scientifiques. Ces ouvrages précisent, dans leur introduction, que cette thématique est perçue par les étudiants comme ardue et difficile. Ces derniers sont heurtés ou découragés par l'apparente complexité de ces notions (Laget, 1981; Périlleux et al., 1999).

Dans le contexte marocain, malgré le dynamisme dont ce contenu fait preuve et l'intérêt de plus en plus croissant qu'on lui accorde, les investigations sur son enseignement /apprentissage restent inexplorée. Pour ce, afin d'amorcer et orienter notre recherche, nous avons eu recours à des entretiens semi-directifs avec des enseignants chercheurs responsables de la matière. Cette approche d'aborder le sujet se justifie par le fait que les enseignants sont la pierre angulaire de toute action éducative et leurs opinions sont fondamentales dans la recherche didactique (Bressoux, 2001; Labédie & Amossé, 2001; Lenoir & Vanhulle, 2006).

Les questions posées aux enseignants s'articulaient autour de la place de ce contenu dans le cursus et le rapport que manifestaient les étudiants par rapport à ce savoir. Les interviewés ont précisé que les étudiants semblent désintéressés par ce contenu et -malgré les efforts déployés-les résultats des évaluations sommatives sont généralement en dessous des espérances. En fait, comme ce contenu constitue un élément parmi d'autres dans le module de physiologie animale, il semble que les étudiants comptent beaucoup plus sur la compensation par les autres éléments pour valider le module. Il faut noter que malgré l'échantillon réduit des enseignants interrogés, on peut dire que les opinions exprimées vont dans le sens des

recherches citées auparavant menées dans d'autres contextes éducatifs et qui soulignent les représentations négatives des étudiants par rapport à ce contenu.

Enfin, il découle de cette introduction que les neurosciences prennent de plus en plus de l'ampleur et que leur concept de base à savoir la neurotransmission présente des difficultés susceptibles d'entraver l'approfondissement de ce concept à l'université. Ce constat est à l'origine de ce travail

III. Question et hypothèses de recherche

Tout au long de ce chapitre, en se basant sur les données de la littérature, nous avons montré l'importance du concept de la neurotransmission et le fait qu'il soit un concept fondamental en biologie mais qui n'est pas facile à assimiler par les étudiants.

La conviction que toutes les actions visant l'amélioration des apprentissages doivent aller contre l'approche réductionniste qui se focalise sur l'apprenant comme seul responsable de l'échec. En effet, dans toute situation d'apprentissage, il y a interférence entre une multiplicité de logiques: la logique de l'enseignant, de l'apprenant, du contenu et celle de la logique de la noosphère éducationnelle imposée par la société. En effet, La noosphère désigne le lieu de rencontre entre le système éducatif et son environnement sociétal et elle sélectionne des objets à enseigner (Tavignot, 1995).

Dans ce travail, nous essayerons donc d'approcher ces différents aspects. Ces résultats nous amènent à formuler notre question générale de recherche:

Quelles répercussions sur le savoir «Neurotransmission» acquis par les Apprenants-Etudiants:

- ***Du savoir enseigné et son origine;***
- ***Des pré-acquis et conceptions;***
- ***Des choix méthodologiques et des démarches d'enseignements adoptées.***

A partir de cette question de recherche et en se basant sur la revue bibliographique effectuée, nous avons formulé nos hypothèses de recherche.

- **Hypothèse1 (H1)**

Il est couramment admis que tout apprentissage viendrait interférer chez l'apprenant avec un déjà-là conceptuel. Ces conceptions désignées par alternatives constituent un système

d'explication lui permettant d'interpréter les différentes situations scientifiques rencontrées. En effet, nous avons essayé de répondre à la question stipulant que les étudiants entamant le cycle universitaire disposent-ils des connaissances antérieures sur la neurotransmission susceptibles d'entraver leur apprentissages? Cela nous a mené à notre première hypothèse.

Hypothèse H1: Les conceptions alternatives constituent un obstacle à l'apprentissage du concept de la neurotransmission.

- **Hypothèse 2 (H2) et Hypothèse 3 (H3)**

Bien que l'appel à l'innovation pédagogique soit de plus en vogue, la méthode magistrale a fait l'objet de diverses critiques. Ces appels montrent que le modèle pédagogique traditionnel transmissif basé sur la transmission linéaire des savoirs s'avère de plus en plus inadéquat et inadapté aux nouveaux enjeux de formation et à la nature de la population étudiante actuelle.Cependant, les obstacles lors de l'enseignement de la neurotransmission peuvent-ils être d'origine langagier du fait de l'utilisation de la langue française comme langue d'enseignement au supérieur. Aussi, ces obstacles peuvent-ils être liés aux démarches pédagogiques inadaptées aux exigences du mode d'enseignement à l'université? Cela nous a mené à formuler nos hypothèses 2 et 3:

Hypothèse H2: L'obstacle linguistique peut entraver l'apprentissage des concepts scientifiques en biologie par les étudiants et plus particulièrement celui de la neurotransmission.

Hypothèse H3: Les nouvelles démarches pédagogiques adoptées dans l'enseignement/ apprentissage de la neurotransmission peuvent avoir un impact positif engendrant le changement conceptuel chez les étudiants.

- **Hypothèse 4 (H4)**

Chaque concept ou vérité scientifique se forme, se déforme, se rectifie et perd son existence au fur et à mesure du temps (Dupont, 1999). Cette évolution des concepts scientifiques peut engendrer des obstacles de nature épistémologique et didactique. Ainsi, la compréhension d'un savoir scientifique passe par la compréhension de son origine. Cela nous a mené à notre quatrième hypothèse:

Hypothèse H4: L'enseignement du concept de la neurotransmission à l'université ainsi que ses concepts organisateurs génèrent leurs propres obstacles de nature épistémologique et didactique.

La finalité de ce travail de recherche est d'apporter des éléments de réponse à ces hypothèses. Avant d'expliciter les données obtenues, il nous a paru judicieux de mettre le point sur les

concepts théoriques sur lesquels nous nous sommes appuyés pour mener cette recherche, cela fera l'objet du chapitre II.

Chapitre II : Conceptions, démarches pédagogiques et transposition didactique, les trois concepts à articuler.

Introduction

Dans toute situation d'apprentissage, l'enseignant a la fonction de médiateur entre l'apprenant et le savoir. Il doit intégrer en plus de sa propre logique pédagogique, la logique des contenus et la logique des apprenants. Ainsi, toute interrogation sur les problèmes d'enseignement/apprentissage doit tenir compte des interactions entre les pôles didactiques suivants: le savoir savant, le savoir à enseigner et l'apprenant. Elle doit donc prendre en considération la transposition didactique qui a fait du savoir savant un savoir à enseigner et de la structure cognitive particulière de l'apprenant.

En effet, pour mieux approcher les situations d'apprentissage, il est indispensable de mettre en exergue les lignes de travail suivantes:

- Les conceptions, qui mettent en évidence l'activité de mise en relation que l'élève élabore entre la nouvelle connaissance qu'il doit maitriser et les connaissances préalables dont il dispose.
- Les démarches pédagogiques qui renvoient aux activités que l'enseignant organise et réalise à partir de sa logique et de ses connaissances dans les situations d'apprentissage.
- La transposition didactique qui trace l'historique et la genèse des concepts enseignés.

Ces notions sont des outils conceptuels qui permettent l'analyse et l'étude des diverses conditions optimisant l'enseignement et l'apprentissage des concepts scientifiques. Comme dans cette recherche, nous nous sommes appuyées sur ces notions pour mener nos investigations, il nous a paru indispensable d'expliciter ici leurs bases théoriques. Ainsi, dans ce chapitre, seront précisées : les différentes définitions des conceptions et leurs rapport avec l'apprentissage, les principaux fondements de la transposition didactique et quelques jalons des démarches pédagogiques adoptées dans l'enseignement supérieur.

I. Conceptions et apprentissage

I.1. Conceptions ou conceptions alternatives

Les travaux de recherche en didactique des sciences sont unanimes sur le rôle fondamental des conceptions pour organiser les situations d'apprentissage des concepts scientifiques. Jean' Migne (1970), fut l'un des premiers ayant introduit la notion de conception en didactique. Les définitions attribuées à cette notion «conceptions», même si elles sont multiples, convergent

toutes vers le savoir de l'apprenant. Ainsi, pour Astolfi et Develay (1989), les conceptions représentent un «*déjà là conceptuel*» tandis que Giordan et Martinand (1988) stipulent qu'il s'agit d'un «*cadre de référence*» et «*des idées préalables qu'a un apprenant sur un sujet d'étude*». Pour Paccaud (1991), les conceptions, c'est *«ce qu'il nous reste lorsque l'on a tout oublié»*, ainsi, pour Astolfi et Peterfalvi (1993), les conceptions d'un élève fonctionnent comme *«un système d'interprétation des situations scientifiques rencontrées»*. Quant à Giordan (1996), il définit la conception comme «*le fruit d'une expérience antérieure de l'apprenant*» et pour Treagust et Duit (2008), les conceptions sont des représentations internes des étudiants à propos d'un concept, généralement en sciences. En effet, l'apprenant comprend le monde à travers ces conceptions incarnant le fruit de son expérience antérieure, sa grille de lecture et d'interprétation de la réalité et qui donc constituent pour lui un système d'explication lui permettant de résoudre les problèmes. Dans ce sens, il est couramment admis que tout apprentissage viendrait interférer chez l'apprenant avec un déjà là conceptuel (Bec & Favre, 1996).

Dans la terminologie anglophone, on parle de «*misconception*», qui signifie pour Novak (1984) un «*écart par rapport aux connaissances scientifiques de référence*» et pour Sencar et al. (2011) ainsi que Gonzalez (1997) et Schmidt (1997) «*des idées fausses*». Selon d'autres auteurs, les conceptions sont aussi parfois nommées «conceptions alternatives», «conceptions erronées», «représentations initiales», «croyances initiales», etc. (Özmen, 2004).

La présente étude se réfère aux conceptions alternatives qui sont les représentations personnelles qui sont en désaccord avec la théorie scientifique acceptée (Cormier, 2013). En effet, les conceptions alternatives au sein des connaissances antérieures de ces derniers peuvent nuire à leur compréhension des notions. Si certaines d'entre elles proviennent d'une interprétation naïve de la nature, d'autres sont issues de l'enseignement lui-même. Une conception est «alternative» quand elle constitue une connaissance propositionnelle ou conceptuelle différente de la définition scientifiquement acceptée d'un concept, ou incompatible avec celle-ci (Driver & Easley, 1978). Certains auteurs les nomment «*conceptions erronées*» ou «*préconceptions*» (Cormier, 2012) puisqu'elles sont des raisonnements faux, qui ne correspondent pas au concept scientifiquement approuvé, qu'on peut éventuellement se forger pour comprendre un concept (Abraham, Perez & Price, 2014 ; Arnaudin & Mintzes, 1985; Cormier, 2012; Giordan et al., 1994; Treagust & Duit, 2008; Wandersee et al., 1994).

En effet, ces conceptions peuvent constituer un obstacle à l'apprentissage. Le philosophe Gaston Bachelard a proposé dans son ouvrage *La formation de l'esprit scientifique* (1938) une catégorisation des obstacles à l'apprentissage des sciences. Les obstacles ontogéniques qui sont attribuables au niveau de développement cognitif des étudiants, les obstacles épistémologiques qui trouvent leur source dans la nature même des concepts scientifiques et s'observent aussi dans l'histoire de ces concepts. Enfin, les obstacles didactiques qui entravent l'apprentissage trouvent leur source dans l'enseignement lui-même (Cormier, 2013). Dans les études sur l'enseignement/Apprentissage des concepts scientifiques, la majorité des chercheurs met l'accent sur les conceptions des apprenants et cela dans un but d'identifier des obstacles aux apprentissages et de définir des stratégies didactiques appropriées (Jonnaert, 1988; Mein, 1988; Mein & Clément, 1988; Clément, 1994; Albanese & Vicentini, 1997; Ozmen, 2004; Schneider & Stern, 2010; Abraham, Perez & Price, 2014; Kampourakis, Silveira & Strasser, 2016). Cependant, la question qui se pose, les enseignants devraient-ils tenir compte de ces conceptions dans leur enseignement?

I.2. Prise en compte des conceptions dans les apprentissages

L'élève n'arrive pas en classe comme une page blanche mais avec des conceptions et connaissances déjà constituées, comme l'écrivait Bachelard (1938). Ces conceptions antérieures ont une grande importance dans les apprentissages ultérieurs du fait qu'elles peuvent favoriser l'apprentissage ou le bloquer quand elles n'évoluent pas (Ozmen, 2004). De ce fait, une meilleure prise en compte de ces conceptions au sein des enseignements serait bénéfique du point de vue de l'efficacité des apprentissages. Bien qu'elles soient répandues chez les apprenants, les conceptions alternatives sont généralement difficiles à détecter par les enseignants dans un contexte de classe traditionnelle. Leur remédiation nécessite toutefois une intervention pédagogique qui les prend en compte. Ainsi, il est nécessaire de déployer des moyens pertinents pour diagnostiquer les conceptions les plus fréquentes dans l'esprit des étudiants.

En effet, plusieurs chercheurs s'accordent pour affirmer que la non prise en compte des conceptions des apprenants peut amener l'enseignement à buter sur un certain nombre d'obstacles (Viennot, 1988; Joshua & Dupin, 1989; DeVecchi, 1992; Giordan, 1994; Giordan, 1998; Soudani, 1998; Kaddari, 2005; Kochkar, 2007; Laribi et al, 2010; Cormier, 2013; El Hassouny, 2014; Sadi, 2014; Bouayad, 2015).

Les obstacles liés à l'apprentissage des notions scientifiques enseignées en biologie peuvent être dus aux conceptions que possédait l'apprenant, ces conceptions fonctionnent, chez lui, comme un mode de connaissance parmi d'autres; elles correspondent à un système d'interprétation cohérent des phénomènes scientifiques qu'il s'est construit de longue date, et qui pour lui "marche" (Jonnaert, 1988). C'est bien pour cela que les conceptions résistent à l'enseignement et perdurent tout au long de la scolarité (Astolfi & Peterfalvi, 1993). Au vu de cela, il est logique de penser que les erreurs relevées au niveau de l'enseignement supérieur ont pu se construire au cours des années précédentes (Darley, 1994). Donc il nous semble que si les étudiants de la filière des sciences de la vie ont des difficultés pour acquérir et assimiler les concepts biologiques tels qu'ils sont introduits lors de l'enseignement au supérieur, c'est probablement dû aux «conceptions» et pré-acquis ancrées depuis les classes du secondaire. La prise en compte didactique (Astolfi et al., 2008) nécessite la mise en lumière des conceptions des étudiants, afin de les confronter pour parvenir au changement conceptuel.

I.3. Importance de l'étude des conceptions

Dans le domaine de la didactique des sciences, on a recourt sans ménagement aux conceptions pour chercher à comprendre l'apprentissage. En effet, l'étude des conceptions permet d'aller au-delà de la recherche des erreurs, tests des connaissances vers la recherche des éclairages sur la structure cognitive du sujet. En fait, comme nous l'avons déjà mentionné, chaque chercheur adopte sa propre définition qui met en évidence une des facettes des conceptions en fonction de ses objectifs.

D'une manière générale, de l'ensemble des travaux en didactique des sciences, émerge une tendance où les conceptions renvoient à l'ensemble de l'univers conceptuel d'un individu (Clément, 1994). Cependant, Mortimer (1995) a introduit la notion de profil conceptuel d'un individu en s'inspirant des travaux de Bachelard qui définit auparavant le profil épistémologique d'un concept scientifique en montrant que tout concept scientifique peut être décrit à l'aide d'une ou plusieurs doctrines philosophiques (Bachelard, 1940).

L'analyse des conceptions est une tâche importante et très bénéfique pour une situation d'apprentissage. Elle permet d'avoir des informations sur les apprenants, tester leurs niveaux, repérer les obstacles épistémologiques et didactiques afin de faire les changements et les ajustements nécessaires dans les programmes ainsi que dans les méthodes et les outils d'enseignement.

I.4. Changement conceptuel

a. Est-il possible de réaliser un changement conceptuel?

Ausubel (1968) affirme que l'apprentissage se produit essentiellement par accrétion de nouvelles informations sur les connaissances antérieures. En effet, les études sur les conceptions des élèves ont montré que ces conceptions devaient être dans certains cas modifiées, voire remplacées à cause de leur incompatibilité avec les savoirs scolaires visés. Ce type d'apprentissage est une nouveauté en didactique des sciences et il a reçu l'appellation de changement conceptuel (Belanger, 2008). Dans le contexte de l'enseignement des sciences, le véritable apprentissage est défini comme l'atteinte du changement conceptuel (Treagust & Duit, 2008).

La notion du changement conceptuel a été discutée par plusieurs chercheurs en éducation. Nous présentons ci- dessous une synthèse de différents points de vue des chercheurs sur le changement conceptuel.Ainsi pour :

- Bachelard (1989), il existe un lien entre le changement conceptuel et l'obstacle:

«*Le changement se produit par ruptures épistémologiques auxquelles sont associées des obstacles épistémologiques. Une rupture se passe lorsqu'il y a un dépassement d'un obstacle*».

- Joshua et Dupin (1999), Le «changement conceptuel» désigne le passage d'une conception d'un état primitif à un état plus évolué et plus abstrait. Il s'agit donc ici de l'évolution des conceptions. Cette définition rejoint d'autres définitions données par Joshua et Dupin (1993); Marton (1993); Orange (1997); Bertrand (1998); Lapointe (2002).
- Vosniadou (2002), Le changement conceptuel est l'assimilation du nouveau savoir aux structures existantes.
- Duit (1999) et Potvin & Thouin (2003), définissent le changement conceptuel comme étant l'évolution des conceptions initiales des apprenants vers des conceptions plus réfléchies ou plus proches de celles des scientifiques, ou les deux à la fois.
- DiSessa (2002); Duit et Treagust (2003), soulignent que le processus de changement consiste de passer d'un savoir fragmenté à un savoir bien structuré.
- Treagust et Duit (2008), le changement conceptuel est défini comme un apprentissage qui restructure ou modifie les conceptions préexistantes.

- Eastes (2013), affirme qu'une conception existante est fondamentalement changée ou même remplacée par une autre pour devenir le cadre conceptuel que les apprenants utilisent pour résoudre des problèmes, expliquer un phénomène et évoluer dans leur monde.
- Hewson (1980); Posner et al. (1982); Nussbaum et Novick (1982); voient le changement conceptuel comme étant des échanges de conceptions.

En effet, les conditions et les modalités pour stimuler le changement conceptuel font actuellement partie des sujets de recherche les plus féconds en sciences de l'éducation, plus particulièrement en didactique.

b. Modèles favorisants le changement conceptuel

Les chercheurs comme Posner et al. (1982), ont tenté de conceptualiser et d'expliquer le processus d'évolution des conceptions initiales aux conceptions scientifiques visées. Ils ont ainsi développé un modèle de changement conceptuel qui a été la source d'inspiration pour d'autres chercheurs pour y mettre en place des modèles favorisant le changement conceptuel, tels que le modèle de Hewson et Thorley (1989) et le modèle de Hewson, Beeth et Thorley (1998).

- **Modèle de Posner et al. (1982)**

Posner, Strike, Hewson et Gertzog (1982) ont transposé les travaux de Kuhn, en philosophie des sciences, et de Piaget, en psychologie, à l'enseignement des sciences, en développant un modèle de changement conceptuelaxé sur l'apprentissage en tant qu'activité rationnelle pendant laquelle l'élève doit être soumis à certaines conditions qui permettent l'accommodation, soit le changement conceptuel, pour passer des anciennes conceptions aux nouvelles conceptions. Selon Posner et al. (1982), les conditions à remplir pour que le changement conceptuel puisse se produire vont comme suit:

1. Il doit y avoir une insatisfaction par rapport, aux conceptions initiales;
2. Une nouvelle conception doit paraître intelligible;
3. Une nouvelle conception doit être plausible;
4. Une nouvelle conception doit être féconde, c'est-à-dire offrir plus de possibilités que la conception initiale.

Cette approche classique du changement conceptuel (Bélanger, 2008; Vosniadou, 2008), où l'élève est considéré comme un scientifique et l'apprentissage comme uneactivité rationnelle, a

guidé la recherche et l'enseignement des sciences pendant de nombreuses années avec le conflit cognitif comme stratégie principale (Vosniadou, 2008).

- **Modèle de Hewson et Thorley (1989)**

S'inspirant du modèle de Posner et al. (1982), ces chercheurs considèrent la conception initiale comme pertinente au départ et elle perd progressivement son statut pour être remplacée par une autre conception proche de celle des scientifiques. Dans ce modèle, les chercheurs insistent que l'intervention pédagogique recommandée pour l'enseignant consiste principalement à créer un conflit cognitif chez les apprenants, ce qui provoque de l'insatisfaction chez eux et par la suite le reste du processus de changement conceptuel s'effectue naturellement (Macbeth, 2000).

- **Modèle de Hewson, Beeth et Thorley (1998)**

Ces chercheurs ajoutent que durant la démarche d'apprentissage, l'enseignant doit favoriser l'expression d'une variété d'idées provenant d'un ensemble de personnes dans la classe et il doit aussi les inviter à bien expliquer leurs idées par le biais de la discussion qui est également une stratégie qui encourage le changement conceptuel (Driver, 1989).

La brève présentation de ces trois modèles de changement conceptuel en sciences nous permet de constater que les trois modèles ont un objet commun qui est le changement conceptuel et que c'est un processus facile à atteindre en s'appuyant sur le conflit cognitif comme une stratégie principale qui favorise ce processus. Cependant, ils divergent sur certains points; le modèle de Posner et al. (1982) ne tient pas compte des composantes motivationnelles et affectives des apprenants. Par contre les deux modèles Hewson et Thorley (1989) et Hewson, Beeth et Thorley (1998), insistent sur l'importance de fournir aux élèves un environnement d'apprentissage qui encourage l'expression de leurs conceptions puis leur faire vivre des expériences signifiantes qui permettent aux apprenants de comprendre leurs conceptions et par conséquent d'être motivé à les réviser.

Les fondements théoriques de ces modèles et surtout le modèle de Hewson et Thorley (1989) et le modèle de Hewson et al. (1998), nous ont inspiré pour mettre en place une démarche pédagogique qui se base sur une stratégie de prise en compte des conceptions initiales peut aider à une meilleure assimilation des notions en question. Le fondement de la méthode est de provoquer un conflit cognitif chez les apprenants, d'abord par inviter les étudiants à exprimer leurs conceptions par rapport à un concept donné, puis de leur présenter une démonstration

opposée à leurs conceptions initiales. Ce conflit cognitif est une stratégie favorisant le changement conceptuel chez les étudiants concernant le concept de la neurotransmission.

II. Démarches pédagogiques

Bien que l'appel à l'innovation pédagogique soit de plus en vogue, la méthode magistrale qui fait l'objet de diverses critiques (Bireaud, 1990), reste le principal mode de transmission des savoirs dans l'enseignement supérieur (Bouchard et Parpette, 2007). En effet, ces appels montrent que le modèle pédagogique traditionnel transmissif basé sur la transmission linéaire des savoirs s'avère de plus en plus inadéquat et inadapté aux nouveaux enjeux de formation et à la nature de la population étudiante actuelle (Felouzis, 2003). Cependant, cette méthode magistrale s'avère incontournable dans les contextes pédagogiques, connaissant la massification de l'enseignement supérieur tels que le Maroc.

En fait, les appels à l'innovation pédagogique insistent sur le fait de favoriser de nouvelles formes d'apprentissage et de nouveaux modes d'enseignement fondés sur des approches centrées sur l'étudiant. Elles préconisent un déplacement du focus mis sur l'enseignant et ce qu'il enseigne vers l'étudiant et ce qu'il apprend (Bertrand, 2014).

II.1. Pédagogie active

La pédagogie désigne l'ensemble des méthodes et des techniques d'enseignement destinées à assurer, dans les meilleures conditions possibles, la transmission ou l'appropriation du savoir. Dans le cadre de ce travail, nous avons choisi d'aborder la pédagogie active qui place l'étudiant au centre de sa formation (El-Hage, 2013). Aujourd'hui, celle-ci s'appuie sur les théories socioconstructivistes de l'apprentissage qui affirment que l'on apprend en construisant et en s'engageant personnellement. Elles soulignent également que le contexte d'enseignement et la nature du traitement de l'information vont conditionner leur transférabilité (Vanpee, Godin & Lebrun, 2008).

Selon De Vecchi, «*l'apprentissage n'est pas un processus de transmission, mais surtout un processus de transformation*». L'enseignant y occupe donc une place non plus de « *détenteur de savoir*», mais de « *facilitateur à l'accès aux savoirs* » (De Vecchi, 2010).

De ce fait, Le cours magistral n'est plus ce lieu de transmission de savoir unidirectionnel: il se construit avec les étudiants. Il peut même être interactif, et ce, quel que soit le nombre d'étudiants. Ainsi, un cours construit en veillant à la participation de ces étudiants accroît

l'efficacité de l'apprentissage qui a lieu pendant les heures de cours magistral (Crouch & Mazur, 2001).

En effet, des travaux de recherche montrent que le cours magistral traditionnel est loin d'être optimal où les étudiants ont tendance à mieux maitriser les concepts lorsqu'il est interactif et qu'ils sont mis en situation d'apprenants actifs (Crouch & Mazur, 2001; Hake, 1998; Lorenzo, Crouch & Mazur, 2006). Bien que ces travaux de recherche portent largement sur des enseignements en sciences, des travaux menés sur l'interactivité en cours magistral dans des disciplines des sciences humaines et sociales montrent aussi une amélioration de l'apprentissage (Mollborn & Hoekstra, 2010).

II.2. Démarche d'Investigation

La Démarche d'Investigation (DI) est une démarche scientifique fondée sur le questionnement et sur l'investigation et où l'apprenant est placé au centre de l'action de ses apprentissages, s'interroge, agit de manière raisonnée et communique pour construire son apprentissage tout en étant acteur des activités scientifiques (Darley, 2007). D'après André Giordan (1999), la démarche scientifique consiste à « *faire émerger des éléments observables ou quantifiables, de les confronter à des hypothèses, de pouvoir maîtriser la démarche pour éventuellement la reproduire et de pouvoir discuter tous les résultats* ».

L'enseignement des sciences fondé sur l'investigation n'est pas une nouveauté, que cela soit en France ou dans le monde (Lebeaume, 2011). En effet, cette méthode scientifique a été intégrée depuis plus d'un siècle, dans les curriculums des sciences dans de nombreux pays notamment les pays anglophones comme l'Angleterre et les Etats Unis (Hasni & Bousadra, 2016). En France, située dans la continuité de l'approche de la démarche scientifique et initiée avec « La Main à la Pâte » en 1996 (Coquidé et al., 2009), les démarches d'investigations ont été progressivement intégrées. En effet, la DI a été adoptée à l'école primaire en 2000, au collège en 2008, au lycée professionnel en 2009 et dans les classes de seconde générale en 2010. (Grangeat, 2014).

Les Démarches d'Investigations ont été déclinées, mises en texte et en œuvre de manières différenciées. Ainsi, par exemple aux États-Unis avec diverses versions, (Inquiry-Based Science Education: IBSE ; Inquiry-Based Instruction: IBI ; Inquiry-Based Teaching: IBT) et en France, ils utilisent le terme de démarche d'investigation. Ces déclinaisons variées peuvent

certainement être mises en relation, au moins partiellement, avec des références historiques et culturelles distinctes (Calmettes & Matheron, 2015).

III. Transposition didactique

La transposition didactique caractérise le décalage entre les savoirs de référence (savoirs savant et culturel de la société), le savoir à enseigner puis le savoir enseigné. L'analyse du passage du savoir à enseigner au savoir enseigné doit porter à la fois sur les programmes, les manuels, les préparations des cours et les pratiques effectives des enseignants en classe (Tavignot, 1995).

L'analyse des processus de transposition didactique, initiée par Verret (1975) a été largement développée depuis par Chevallard (1989) en didactique des mathématiques. Cette approche s'est depuis élargie à la didactique de diverses disciplines scientifiques (Astolfi et al., 1997), et elle s'est avérée utile à l'étude des processus de médiatisation (Clément, 1998).

Au-delà de sa légitimité sociale et culturelle, chaque savoir enseigné se justifie en droit par sa correspondance à un savoir extra-scolaire - un savoir savant - qui le précède et qui le fonde culturellement et scientifiquement. En effet, Chevallard (1991) soulignait que dans « *le passage du savoir savant au savoir enseigné, un écart se creuse, une transposition s'opère, qui adapte, remanie, et parfois dénature les éléments empruntés à la sphère des pratiques savantes de la connaissance* ».

Joshua (1996) a proposé d'étendre la théorie de la transposition aux savoirs experts. Bien avant, dans la même perspective, Martinand (1986) avait introduit la notion complémentaire de pratiques de référence. Il l'avait proposée à propos de la technologie et de l'informatique, mais elle convient aussi aux disciplines linguistiques ou artistiques, aux travaux manuels, à l'éducation physique et aux formations professionnelles.

III.1. Transposition: retour aux sources

Lorsque Verret (1975) introduisait le concept de transposition didactique en sociologie, il cherchait à désigner un phénomène qui dépasse l'école et les disciplines d'enseignement. Il s'intéressait à la façon dont toute action humaine qui vise la transmission de savoirs est amenée à les apprêter, à les mettre en forme pour les rendre «enseignables» et susceptibles d'être appris. La transposition didactique selon Verret(1975) passe par des transformations plus radicales. Il en décrit cinq:

- La désynchrétisation du savoir, autrement dit sa structuration en champs et en domaines distincts. Les savoirs savants sont déjà organisés en disciplines, mais on ne trouve pas l'équivalent pour les autres savoirs humains.
- La dépersonnalisation du savoir, qui le détache des individus et des groupes qui le produisent ou s'en servent.
- Une programmation, qui tient au fait qu'un savoir étendu ne peut être assimilé en une fois et passe par un chemin de formation balisé.
- Une publicité du savoir, qui trouve son achèvement dans les référentiels et dans les programmes qui permettent à chacun de saisir sur quoi porte l'intention d'instruire.
- Un contrôle des acquisitions.

III.2. Etapes de la transposition didactique

D'après Gauvin & Boivin (2012), la transposition didactique est constituée de deux phases. La première phase qui est la transposition didactique externe qui s'intéresse au passage du savoir savant au savoir à enseigner et la seconde phase qui est la transposition didactique interne qui concerne le passage du savoir à enseigner au savoir enseigné.

La transposition de savoirs savants en savoirs scolaires correspond bien à ce sens métaphorique: les savoirs changent partiellement de forme, voire de contenu, lorsqu'ils passent de leur domaine d'origine (la cité savante) à leur domaine de transmission qui est l'école (Perrenoud, 1998).

a. Transposition didactique externe

Elle représente le processus de transformation, d'interprétation et de réélaboration didactique du savoir scientifique constitué dans différents domaines de connaissance (Paun, 2006). La transposition externe représente un processus de contextualisation et de recontextualisation (Astolfi & Develay, 1989). Cette transposition externe est réalisée par ce qu'on appelle la noosphère contenant les acteurs (enseignants, inspecteurs pédagogiques, universitaires,…) qui élaborent les programmes, décident du contenu à enseigner et aussi recommandent les méthodes d'enseignement à appliquer (Paun, 2006).

b. Transposition didactique interne

Elle représente l'ensemble des transformations successives et négociées subies par le curriculum formel dans le cadre du processus d'enseignement et d'apprentissage, tout au long

du parcours professeur-élève. On l'appelle interne car elle se produit à l'intérieur de la relation professeur-élève (Paun, 2006). En effet, dans la transposition didactique interne, on peut distinguer deux volets (Ouertatani, 2009):

- Le premier volet de cette transposition interne concerne le passage du savoir à enseigner, proposé dans les programmes et les instructions officielles et adapté dans les manuels, au savoir réellement enseigné par l'enseignant.
- Le deuxième volet concerne le passage du savoir enseigné au savoir appris. Ce savoir résulte du travail que fournit l'élève pour appréhender, interpréter et souvent modifier les connaissances introduites par l'enseignant lors des différentes situations d'apprentissage proposées.

Pour les chercheurs la description et l'analyse des objets enseignés peuvent être abordés de point de vue enseignant qui présente le savoir à l'apprenant ou de celui de l'apprenant qui se l'approprie. En effet, comme le fait, le chercheur vis-à-vis des théories qu'il construit, l'apprenant juge le savoir qu'on lui présente à la lumière des usages qu'il imagine et qu'il se sent capable d'en faire (Soudani, 1998).

III.3. Transposition didactique au niveau de l'enseignement supérieur

Comme dans le cas des conceptions, la majorité des études et des réflexions sur la transposition didactique sont produites au niveau de l'enseignement secondaire. Cependant, Kaddari (2005) soulignait que nous pouvons reprendre la définition de Develay (1995) relative à la transposition didactique en enseignement secondaire et l'adapter à l'enseignement supérieur dont on distingue deux niveaux de la transposition:

- Transposition externe qui désigne la conception d'un savoir à enseigner par la production d'ouvrages spécialisés pour traiter les différents concepts abordés à l'université. Ces ouvrages sont issus des publications de la communauté scientifique ou des écrits anciens sur les sujets abordés. A noter l'absence des manuels ou d'ouvrages édités par les instances officielles de l'enseignement supérieur.
- Transposition interne en référence au travail de l'enseignant (Cours et conférences…).

Pour l'enseignement supérieur, le contenu peut bien être celui fournit par l'enseignant, comme il peut être celui des ouvrages de référence. Les étudiants sont alors probablement confrontés à différents types de transposition parfois même contradictoires, ce qui risque d'induire des conflits internes et des ambiguïtés chez eux (Kaddari, 2005).

A l'université, le contrat didactique est différent de celui au secondaire. Les étudiants entretiennent un rapport au savoir fondamentalement différent de celui entretenu par les élèves dans les niveaux scolaires. Dans les Facultés des Sciences, les enseignements sont organisés sous deux formes: théorique incluant les cours magistraux et les travaux dirigés et les travaux pratiques comme étant la forme expérimentale. Les pratiques éducatives dans ces établissements sont plutôt proches des systèmes d'enseignement traditionnels où l'enseignant est le seul détenteur d'un savoir qu'il doit transmettre à des étudiants qui doivent recevoir ce savoir, l'admettre et l'appliquer dans la résolution des problèmes posés lors des examens (Kaddari, 2005). A cet égard un ensemble de réformes a vu le jour, la plus récente est celle recommandée par la Vision Stratégique 2015-2030, qui exige un souffle constant, inscrit dans la durée, afin de soutenir une rénovation continue du modèle pédagogique ainsi que son objectif majeur est d'entrevoir les défis à surmonter dans le cadre de la mise en œuvre dela Vision et au-delà, pour œuvrer à rehausser la qualité de l'enseignement supérieur universitaire et le projeter dans l'avenir (Bourqia, 2018).

Conclusion

Les conceptions, les démarches pédagogiques et la transposition didactique sont des voies de travail complémentaires pour l'étude et l'analyse d'une situation d'apprentissage et cela plus particulièrement dans le cas de l'enseignement universitaire.

D'une part, la connaissance des conceptions alternatives par les chercheurs et les enseignants représente l'une des assises sur lesquelles le changement conceptuel s'appuie pour mener à des apprentissages efficaces. En effet, cette connaissance est très utile pour mieux adapter un enseignement et faire en sorte que le questionnement et la problématique envisagés par l'enseignant et reçus par l'apprenant soient convergents. Aussi, dans ce sens, la prise en compte de ces conceptions peut être à la base du choix des méthodes et stratégies d'enseignement. D'autre part, la proximité avec le savoir savant et l'accroissement exponentiel des connaissances nécessitent un choix des résultats significatifs à transposer. Ce choix doit être en fonction des finalités des formations et des compétences souhaitées.

L'objectif de notre travail étant la contribution à clarifier les différents obstacles qui peuvent entraver les apprentissages du concept de la neurotransmission. En effet, il nous parait indispensable de connaitre d'une part l'histoire de la genèse de ce concept et d'autre part les conceptions des étudiants par rapport à ce concept.

Chapitre III : Méthodologie générale de travail

Introduction

L'analyse d'un processus d'enseignement passe obligatoirement par l'étude des interactions entre le savoir et l'apprenant. En fait, lorsque nous nous intéressons à la didactique d'une discipline, nous devons faire le choix inévitable de centrer l'attention sur les relations cognitives que l'apprenant peut entretenir avec le domaine du savoir à enseigner et le savoir enseigné. Trois variables ont été donc mises dans les champs d'investigation: le savoir savant, le savoir à enseigner et le savoir appris. Ainsi, le questionnement sur lequel est fondée notre recherche s'articule autour de ces variables.

Notre démarche consiste à analyser, le savoir à enseigner de la neurotransmission (contenu en question dans ce travail) et son rapport avec le savoir savant ainsi que le savoir appris par les étudiants après un enseignement intense à l'université. Pour cela, nous avons adopté une méthodologie de travail mettant en œuvre deux instruments de recherche: l'analyse documentaire et l'enquête, principalement sous forme écrite « questionnaire ».

I. Analyse documentaire

Dans le cadre de cette analyse documentaire, qui constitue la première partie de ce travail, nous avons effectué deux types d'analyses:

1. D'une part, une synthèse des ouvrages de référence et des articles portant sur l'histoire et l'épistémologie de la construction du concept de la neurotransmission, ce qui fera l'objet du quatrième chapitre.
2. D'autre part, une analyse documentaire de huit ouvrages de référence destinés à l'enseignement du concept de la neurotransmission et de ses concepts organisateurs. Les ouvrages sont des livres destinés aux étudiants de DEUG, de médecine et de classes préparatoires scientifiques. En fonction de nos objectifs, les différentes séquences composantes de ce contenu ont été analysées sur la base de grilles que nous avons élaborées. Ces grilles sont décrites dans le cinquième chapitre.

II. Enquête par questionnaire

L'enquête sous forme de questionnaire est un outil très utilisé en recherche didactique, notamment pour mettre à l'épreuve et vérifier les questions de recherche. En effet, nous avons bâti des questionnaires papier/crayon formés d'un ensemble de questions en rapport avec nos hypothèses de recherche.

Notre méthodologie consiste en quatre expérimentations ayant chacune une finalité différente:

- Dans la première expérimentation, nous visons approcher l'impact de la langue française sur les apprentissages des contenus scientifiques à l'université, en particulier dans la filière des Sciences de la Vie.
- Dans la deuxième expérimentation, le questionnaire est sous forme d'un test proposé aux étudiants de la deuxième année du premier cycle universitaire, en amont de l'enseignement du cours de la neurotransmission (pré-test). La finalité de ce pré-test est celle d'avoir une idée sur les connaissances et les pré-requis des étudiants sur la notion avant le début de leur apprentissage de la neurotransmission à l'université.

  Pour savoir si les conceptions des étudiants ont évolué à l'issu du cours sur le concept à l'université et donc estimer si leurs performances dans le domaine ont été ou non développées, le même questionnaire a été administré aux étudiants en aval de cet enseignement (post-test). Il s'agit donc ici d'un essai de mesure de savoir appris.
- Dans la troisième expérimentation, nous avons eu recours à un questionnaire auprès des enseignants du secondaire qualifiant dans le but de mettre en exergue leurs représentations sur la Démarche d'investigation, savoir si cette démarche est adoptée ou non dans l'enseignement des disciplines des sciences expérimentales (Sciences de la vie et de la terre, Sciences de la physique et de la chimie) et enfin déterminer les contraintes et les obstacles à sa mise en pratique.
- La finalité de la quatrième expérimentation consiste à détecter s'il y a l'impact d'une démarche pédagogique interactive dans l'enseignement de la neurotransmission à l'université. Pour ce, il a été proposé aux étudiants le même questionnaire utilisé dans la deuxième expérimentation. Il faut noter que nous avons essayé de reproduire les mêmes conditions. Ainsi le test a été passé en amont et en aval de l'enseignement du contenu en question à savoir la neurotransmission auprès des étudiants de la deuxième année du premier cycle universitaire.

D'une manière générale, nous pouvons dire que ces expérimentations ont été menées via des questionnaires élaborés à l'issu de la méthodologie de travail et adaptés aux objectifs de la recherche à savoir l'approche des connaissances des étudiants constituant la population de la recherche.

II.1. Plan des expérimentations

a. Elaboration du questionnaire de la langue d'enseignement à savoir la langue française

Parmi les variables incriminés comme obstacle d'apprentissage dans les formations universitaires au Maroc, on pointe la langue d'enseignement à savoir la langue française. Pour ce, il est opportun d'étudier également l'impact de ce facteur sur l'enseignement/Apprentissage d'un contenu spécifique à savoir la neurotransmission. En fait, le choix de réaliser cette étude a été motivé par le constat des enseignants universitaires déplorant le niveau de langue française de leurs étudiants. Ce choix a également été corroboré par les données recueillies à l'issu d'un sondage informel au sein de la communauté estudiantine. En fait, à la marge d'un cours magistral, nous avons demandé à un groupe de plus de 60 étudiants de nous lister (oralement) leurs problèmes. L'opération s'est déroulée dans un amphi. Les problèmes cités le plus avaient un lien direct avec la langue d'enseignement.

En se basant sur les données recueillies auprès des enseignants et étudiants de la deuxième année du premier cycle universitaire, nous avons pu élaborer notre questionnaire (Annexe 1) qui se composait de 9 questions dont certaines étaient des questions fermées et d'autres des questions à choix multiples (QCM) demandant aux étudiants de donner leurs représentations sur l'utilité et l'apport de la langue française dans leur apprentissage à l'université et aussi donner la nature des difficultés et obstacles rencontrés par ces étudiants lors des apprentissages des concepts biologiques à l'université.

b. Elaboration du questionnaire sur les conceptions et savoir appris

Comme il a déjà été mentionné, les questionnaires des deux expérimentations en amont et en aval de l'enseignement du contenu de la neurotransmission s'articulaient autour des concepts basiques (neurone, synapse et neurotransmetteur) de ce contenu.

La première étape dans l'élaboration du questionnaire était donc la mise en exergue des concepts clés de la neurotransmission. Pour cela et afin de cerner «le contenu de la neurotransmission» dans le savoir enseigné au premier cycle universitaire nous nous sommes, appuyées sur le programme et les supports de cours rédigés par les enseignants de la matière. Ainsi, nous avons pu savoir comment le concept est défini et présenté.

Par la suite, dans le but d'avoir un aperçu sur le profil conceptuel "attendu" et sur les pré-requis estimés chez les étudiants entamant le cursus universitaire, l'accent a été mis sur le

contenu relatif à cette notion à savoir la neurotransmission dans le programme du secondaire (Lycée). Ainsi, en plus des fiches de programme, le regard a été porté sur le manuel scolaire utilisé en classe de première année du Baccalauréat Sciences de la Vie et de la Terre. Cet examen a permis de relever les concepts de base étudiés à ce niveau, tels que la nature du message nerveux, le neurone, la synapse, le neurotransmetteur.

Sur la base de ces investigations dans les contenus d'enseignement destinés aux élèves (niveau secondaire) et aux étudiants (université), nous avons élaboré l'outil de diagnostic qui est un questionnaire. Afin de mieux cerner les conceptions des étudiants interrogés, nous avons diversifié le type de questions : questions fermées, ouvertes et demande de schéma:

- Six questions fermées (Q1, Q2, Q3, Q4, Q5 et Q7) sous forme de questions à choix multiple (QCM) où les étudiants interrogés doivent choisir des réponses parmi des propositions qu'on a formulées, cela afin de limiter le type de réponses ainsi pour faciliter leurs traitements.
- Deux questions où les étudiants interrogés doivent dessiner les schémas des deux concepts (synapse (Q6) et neurone (Q8)).
- Deux questions ouvertes (Q9 et Q10), pour que les étudiants interrogés soient libres de répondre comme ils le souhaitent, cela permet d'approcher de plus près ce que les étudiants pensent exactement sur la neurotransmission et de récolter une grande variété de réponses, y compris celles auxquelles on ne s'attendait pas.

Cette multiplicité de forme de question permet de vérifier l'implication des étudiants enquêtés et donc la validité du questionnaire et la cohérence des réponses.

c. Elaboration du questionnaire de la Démarche d'Investigation

Dans le contexte universitaire marocain, dans le cursus de formation de l'enseignant au niveau supérieur, il n'y avait aucune obligation de formation dans le domaine de la pédagogie. L'intégration du corps professoral universitaire se faisait exclusivement sur la base des qualifications dans le domaine de la recherche. Certes, il y a quelques années, les instances officielles ont essayé de remédier à cela par l'introduction de quelques heures de pédagogie universitaires dans le cycle doctoral et par l'implication des étudiants dans les tâches pédagogiques des départements relatifs à leurs champs disciplinaires mais cela reste très minime par rapport aux besoins réels en compétences pédagogiques.

Cela explique le fait que dans l'université le modèle d'enseignement régnant est le modèle magistral transmissif qui est-on ne peut le nier- le modèle le plus adapté aux universités sous l'emprise de la massification telle que l'université marocaine. Il faut préciser que la massification argumente fortement la réticence de la majorité des enseignants quant à l'intégration de nouvelles approches pédagogiques actives.

Convaincu des limites du modèle transmissif, nous avons essayé de voir si les étudiants qui sont ex -élèves ont été confrontés, dans le cursus scolaires, à des approches pédagogiques autre que le transmissif et cela via les opinions des enseignants du secondaire. Ainsi, un questionnaire axé sur la Démarche d'Investigation destiné aux enseignants des sciences de niveau secondaire a été élaboré.

Le processus d'élaboration du questionnaire s'est déroulé en deux étapes: dans la première, le questionnaire se composait de 10 questions dont certaines étaient des questions fermées et d'autres des questions à choix multiples (QCM) demandant aux enseignants de s'exprimer sur la Démarche d'Investigation. Les données collectées étaient très minimes car les enseignants ont manifesté une résistance qu'ils justifiaient par la longueur du questionnaire. Dans la deuxième étape et via les entretiens, nous avons pu déduire que les enseignants n'ont pas voulu s'engager dans les réponses car la terminologie Démarche d'Investigation leur semble inconnu et qu'ils ne sont pas familiarisés avec ce terme. En effet, le questionnaire a été bâti après une discussion sur la thématique avec un groupe d'enseignants. Le questionnaire a été repris et nous avons limité le nombre de questions à cinq et simplifié leur formulation.

II.2. Population cible

Puisque les expérimentations menées au cours de cette recherche étaient diversifiées, les échantillons ont été différents.

- La population de la première expérimentation se composait de 100 étudiants de différents niveaux de la filière Sciences de la vie (SVI) appartenant à la faculté des Sciences Dhar El Mahraz durant l'année universitaire 2015-2016.
- La population de la deuxième expérimentation se composait de 120 étudiants du semestre 4 (S4), deuxième année du cycle de la licence de la filière Sciences de la vie de la Faculté Sciences de Dhar El Mahraz pendant l'année universitaire 2015-2016.

- La troisième expérimentation était menée auprès de 45 enseignants de sciences expérimentales exerçants dans différents Lycées de la ville de Fès durant l'année scolaire 2015-2016.
- La quatrième expérimentation se composait de 120 étudiants du premier cycle universitaire (deuxième année) de la filière Sciences de la vie (SVI). Elle est réalisée au sein de la Faculté des Sciences Dhar El Mahraz pendant l'année universitaire 2016-2017.

II.3. Conditions de passation du questionnaire

Pour la deuxième expérimentation et la quatrième expérimentation, le questionnaire a été administré deux fois:

- En amont et en aval de l'enseignement de la neurotransmission. La première fois dans un amphithéâtre avant le début du cours et de tout apprentissage de la neurotransmission, il s'agit donc du pré-test.
- Pour la même population, le post-test ou le questionnaire en aval a eu lieu également dans un amphithéâtre après un mois et demi de l'enseignement et apprentissage de la neurotransmission; c'est-à-dire lorsque le cours est terminé.

Dans les deux cas les étudiants ont pris 30 à 45 min pour renseigner tout le questionnaire. Nous avons par ailleurs précisé aux étudiants que le questionnaire est anonyme et qu'il n'est pas noté afin d'éviter tout rapport avec les examens.

Concernant la première expérimentation, la passation du questionnaire a eu lieu dans le département de la biologie. Les étudiants ont pris 45 min pour répondre au questionnaire. Lors de l'administration du questionnaire, on a précisé aux étudiants que c'est anonyme et non noté et qu'il rentre dans le cadre des études doctorales.

Pour la troisième expérimentation, l'étude a été réalisée dans plusieurs lycées publics de la ville de Fès. Les questionnaires ont été récupérés après un quart d'heure.

II.4. Traitement des données

Lors de cette phase, les données des questionnaires des quatre expérimentations sont traitées par des opérations statistiques simples, telles que, des pourcentages permettant d'établir des figures qui synthétisent et mettent en relief les informations apportées par l'analyse. Les résultats sont traités par Microsoft Excel.

Les données de la quatrième expérience ont été soumises à l'analyse de la variance (ANOVA) pour chaque échantillonnage afin de déterminer les différences significatives entre les moyennes et de déterminer si les résultats de l'expérience étaient significatifs. Essentiellement, nous avons testé l'évolution des conceptions des étudiants entre le pré-test et le post-test, afin d'approcher l'effet de la démarche interactive adoptée sur la progression des conceptions des étudiants sur le concept de neurotransmission. Un test à multiples avec un niveau de confiance de 95% a été réalisé à l'aide de la méthode de Tuckey. Il convient de noter que les réponses correctes ont été codées par (Vraie) et les réponses incorrectes par (Fausse). Le traitement statistique des données a été effectué avec le logiciel XLSTAT, qui utilise le logiciel Microsoft Excel pour saisir des données et afficher les résultats.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exposé les finalités des quatre expérimentations réalisées dans notre travail de recherche ainsi que les méthodes utilisées pour recueillir et traiter les données de chaque expérimentation.

Chapitre IV : Histoire et épistémologie de la Neurotransmission

Introduction

Parmi les principaux fondements de la didactique des sciences figurent l'épistémologie et l'histoire des sciences. En effet, l'épistémologie, une science de la production scientifique, permet de voir le caractère construit et évolutif de la science en faisant appel à la dimension historique des idées (Giordan & De Vecchi, 1987). Actuellement, plusieurs chercheurs et éducateurs sollicitent fortement l'introduction de l'histoire des sciences dans tous les niveaux d'enseignements et dans la formation des enseignants. L'objectif est d'aider à surmonter certains obstacles d'apprentissage de concepts scientifiques (Le Maréchal, 2010; Guedj et al., 2009; Maurines & Mayrazgue, 2007; Laube & Stephane, 2007; Fauque, 2007).

Chaque concept ou vérité scientifique se forme, se déforme, se rectifie et perd son existence au fur et à mesure du temps (Canguilhem, 1968). En biologie, les concepts scientifiques sont de nature évolutive et seule l'histoire peut ressaisir et comprendre le contenu de ces concepts ainsi que leur nature évolutive.

Notre recherche sur l'enseignement et l'apprentissage de la neurotransmission, nous a mené donc naturellement à examiner comment le concept de la neurotransmission a été construit par la communauté scientifique, ce que nous exposons dans ce chapitre.

La neurotransmission a un grand intérêt biologique et médical ainsi qu'épistémologique. En effet, les sciences du système nerveux par le fait de forger les concepts d'influx nerveux, neurone et de synapse ont pu introduire le concept de neurotransmetteur dans le domaine des sciences de la vie. La neurotransmission constitue une réponse satisfaisante à un ensemble de questions formulées et inscrites dans un contexte scientifique historiquement bien défini et qui a montré que l'histoire de la neurotransmission n'est pas linéaire et n'est pas théoriquement isolée (Dupont, 1999) et elle s'est tissée au fil des années par des avancées et reculs, distorsions et polémiques, confluences et anti-ramifications (Kaddari, 2005).

L'objectif de cette partie est de retracer l'évolution épistémologique et historique de la neurotransmission de l'antiquité jusqu'à l'aube des neurosciences cognitives. Pour réaliser cet objectif, nous nous sommes basés principalement sur trois ouvrages : « Histoire de la Neurotransmission » de Dupont (1999) qui a montré que même si la littérature neuroscientifique est grande, le champ historique du concept de la neurotransmission est en presque désert, l'ouvrage de Kayser (1963), intitulé « Physiologie. Système nerveux.

Muscle » et l'ouvrage de Clarac et Ternaux (2008), intitulé « Encyclopédie historique des neurosciences. Du neurone à l'émergence de la pensée ».

La prolifération et l'accumulation des productions rendent difficile voire impossible l'exposition de tous les faits. Pour cela, nous essayerons de nous limiter aux moments forts de cette histoire, moments marqués par des avancées significatives dans l'évolution de la construction de ce concept. Au final, faire l'histoire de la neurotransmission permet de décrire l'opposition de deux théories cohérentes chimique et électrique, mais dont une seule sera adoptée et l'autre sera rejetée.

En adoptant la classification de Bachelard (1940), nous pouvons tracer le profil épistémologique du concept de la neurotransmission selon trois âges:pré-scientifique, scientifique et nouvelle ère scientifique.

I. Age préscientifique : Rationalisme naïf

Partant de la conviction que par l'ignorance des données anciennes, on se prive d'une réflexion qui nous permettra de mieux saisir les questions scientifiques les plus actuelles. Ainsi dans notre recherche, nous effectuerons une sorte de séduisant retour aux sources, donc à l'époque où les savants philosophes ont réalisé un prodigieux bond en avant en faisant appel uniquement à leur extraordinaire lucidité et claire voyance.

L'histoire des neurosciences a montré que la découverte du système nerveux en général et du cerveau en particulier a été chaotique, émaillée de périodes de progrès et de recul au fil des temps et des cultures (Gandolfo & Deschaux, 2010). De ce fait, les questions qui se posaient sont : A partir de quel moment de l'histoire, le cerveau a suscité l'intérêt de l'homme ? Quand il est devenu un sujet des études scientifiques ?

En effet, les connaissances des rapports entre le corps et l'esprit ont toujours fasciné les philosophes et les scientifiques, depuis les temps les plus reculés et dans toutes les civilisations (Fouchey, 2007).

- **Préhistoire et sociétés primitives**

De nombreux témoignages du passé (ossements, outils, dessins,…) indiquaient que nos prédécesseurs avaient bien compris que le cerveau était un organe vital.

- **Egypte pharaonique**

Le rôle du cerveau dans l'intelligence et du cœur dans la circulation sanguine a été évoqué dans le plus ancien des papyrus médicaux qui ont pu résister jusqu'à aujourd'hui, celui d'Imhotep, vers 2800 avant J.-C. Dans le papyrus d'Ebers datant de 1550 avant J.-C., qui est un manuel présentant la liste des signes pathologiques rencontrés par un médecin dans son exercice quotidien, il a mentionné des états d'abattement et de découragement assez comparables à la sémiologie moderne des états dépressifs. Il est également identifié, dans ce dernier, plus de 700 drogues sur la base de leur origine, végétale, animale ou minérale. Quant au papyrus de Smith, publié en 1930, c'est un traité chirurgical d'une vingtaine de pages qui traita des lésions et des traumatismes. Dans ce traité, apparait la première évocation suggestive des sciences et des circonvolutions cérébrales. Aussi, les sutures crâniennes, méninges et liquide cérébro-spinal sont également mentionnés (Gandolfo & Deschaux, 2010).

- **Cerveau et Grèce antique**

En Grèce, au V^{e} siècle avant Jésus-Christ (J-C), Alcmaeon de Crotone (570-500 avant J-C), fut l'un des premiers à avoir pratiqué des autopsies sur des humains, il considérait le cerveau comme étant l'organe de la pensée.

Le premier grand traité sur le système nerveux "corpus hippocratique" a été écrit par Hypoctrate de Cos (460-370 avant J-C), Il s'agissait des études sur les paralysies, les désordres et les différentes maladies du cerveau. Hippocrate attribua au cerveau une autre qualification, il le considéra le cerveau comme étant le centre des sensations et de l'intelligence (Gandolfo & Deschaux, 2010).

Dans la même époque, le philosophe Platon (428-347 avant J-C) stipulait que tout se construisait à partir du cerveau. Il imagina une âme composée de trois parties localisées en différentes régions du corps : dans la tête, il place la sphère pensante, dans le cœur, les sentiments de colère, de peur ou de courage et enfin dans les viscères et le foie, il place les désirs inavoués (Clarac & Ternaux, 2008). Bien que Aristote (384-322 avant J-C) soit un disciple de Platon, il avait proposé une vision bien différente de ce dernier. Il disait que le cœur était le centre de l'intellectuel et que le cerveau était uniquement un régulateur thermique qui servait à refroidir le sang chauffé par les émotions (Gandolfo & Deschaux, 2010).

- **Cerveau et Empire romain**

Si les philosophes de l'antiquité se sont contentés d'attribuer des fonctions au cerveau, Claude Galien (130-200) a essayé d'étudier le système nerveux. En effet, ce médecin qu'on peut qualifier comme le plus grand savant du système nerveux de l'antiquité se représentait ce système comme une justification de l'organisation naturelle (Clarac & Ternaux, 2008). Il avait décrit le parcours de l'influx nerveux depuis le cerveau et avait étudié l'influence des nerfs sur le mouvement musculaire. En fait, il avait établi que les nerfs reliaient le cerveau et la moelle épinière aux muscles et à la peau et distingua les nerfs sensitifs et les nerfs moteurs. L'expérience de Galien de la ligature et de la compression du nerf a fait penser à un tuyau et a suggéré que le nerf est creux, ce qui l'a amené à considérer que la cavité du nerf contenait et conduisait du « pneuma psychique » élaboré par les ventricules cérébraux (Kayser, 1963). Selon ce savant, la conduction du nerf consistait en un transport de ce « pneuma psychique » du cerveau vers les muscles.

Enfin, pendant toutes ces périodes, les travaux sur le système nerveux sont restés au stade des spéculations et des imaginations. La réflexion se limitait à la fonction du cerveau et les prémices du fonctionnement du système nerveux étaient sans fondement scientifique. Il faut noter que, dès la préhistoire, nos ancêtres considéraient le cerveau comme un organe vital même si son rôle fut parfois mis à l'écart au profit du cœur.

II. Age scientifique : Empirisme clair et positiviste

Pendant près de mille ans, la progression des idées sur le cerveau se basait sur la controverse greco-romaine. Durant cette période, il était interdit de toucher au corps humain et il a falluattendre la renaissance pour que certains chercheurs curieux s'arrogent le droit de disséquer le corps humain.

Les données anatomiques vont devenir plus précises grâce à Léonard De Vinci (1472-1519) et à André Vésale (1514-1564). Ces deux chercheurs sont les deux pionniers de l'anatomie, ils ont réalisé un nombre important de croquis anatomique du corps humain. En effet, Vésale fut le premier à contester les données anatomiques de Galien, il représenta donc la transition entre une civilisation encore tournée vers l'antiquité et un XVII^{e} siècle novateur.

Au XVII ^{e} siècle, René Descartes (1596-1650) donna dans *Les passions de l'âme* publié en 1646, sa définition de la biologie, du fonctionnement du corps, des mouvements et de leurs organisations. Il proposa une disposition dualiste de l'être humain où l'âme est le principe de

tout mouvement volontaire du corps alors que les activités fondamentales sont réalisées par ce qu'il appela « machine ». Cette représentation du fonctionnement humain- même si elle est erronée, elle avait apporté du nouveau dans le raisonnement sur le système nerveux.

Descartes expliqua, également, dans l'article VII du traité des Passions de l'Ame, la façon dont circulent les sensations et leur cheminement vers les organes. Il disait que le sang partant du cœur monte au cerveau et devient ce qu'il nomma « esprits animaux » qui par la suite se distribuent dans l'ensemble du corps via les nerfs. Par cela, pour décrire l'effet de la contraction d'un muscle, Descartes associa, comme du temps de Galien, la circulation sanguine et la transmission nerveuse (Clarac & Ternaux, 2008). En fait, Descartes explicita la notion de nerf sous forme de tuyau, « *On sait que tous ces mouvements des muscles, comme aussi tous les sens; dépendent des nerfs qui sont comme de petits filets ou comme de petits tuyaux qui viennent tous du cerveau et contiennent ainsi que lui un certain air ou vent très subtil qu'on nomme les esprits animaux* » (Descartes, 1646). On note que tout en gardant la même conception que Galien, l'expression des « esprits animaux » a remplacé celle de «pneuma psychique ». Ces spéculations disparaissaient au fur et à mesure que la méthode expérimentale se répandait. En effet, l'émergence des expériences instituées a permis d'apporter plus de connaissances pour déterminer la nature de ce fluide circulant dans le nerf (Kayser, 1963).

En effet, en utilisant pour la première fois la préparation sciatique-gastrocnémien de grenouille, Jan Swammerdam (1637-1680), constata en 1664 que le volume du muscle ne varie pas pendant la contraction. Ces résultats, qui ne sont publiés qu'en 1738, confirmait une expérience faite sur l'homme par Francis Glisson (1597-1677) et qui montrait que le volume du bras n'augmente pas pendant la contraction volontaire des muscles. Selon Fulton (1926), Glisson a conclut que « *les fibres n'ont pas besoin d'un afflux abondant d'esprits animaux ou vitaux pour être gonflées* » (Cité par Fulton, 1926).

Ces expériences de Swammerdam et de Glisson ont mis en doute la nature pneumatique des esprits animaux et vers la fin du XVII^{e} et au XVIII^{e} siècle, l'idée d'un fluide pneumatique a été complètement abandonnée. En revanche, les chercheurs ont commencé à proposer d'autres explications de la conduction nerveuse d'où l'apparition des nouvelles méthodes telles que l'électrophysiologie qui va prendre essor.

II.1. Naissance de l'électrophysiologie

II.1.1. Origines de l'électricité animale

Dans la deuxième moitié du XVIII siècle, les retombées du progrès de la physique commençait à impacter tous les champs scientifiques. Ainsi, par exemple en neurologie, le développement de l'électricité a renforcé l'émergence de la réflexion de la transmission nerveuse électrique et a mené à l'abandon petit à petit de la théorie de la transmission nerveuse par voie mécanique. En effet, en 1791, Luigi Galvani (1737-1798) montra que la patte arrière d'une grenouille suspendue par un crochet de cuivre à un portique en fer se contracte à chaque fois que les extrémités des pattes touchent l'un des barreaux. Il avait remarqué que quand les portiques sont constitués de matériaux non conducteurs, ces contractions ne se produisaient pas. Galvani conclut alors que « *l'électricité est inhérente à l'animal* » (Brazier, 1959), il appela ce phénomène : électricité animale. Cette découverte ouvrit les portes à nombreuses investigations sur le système nerveux.

En effet, l'idée d'une affinité entre la vie et l'électricité animale suscita un immense intérêt et les chercheurs ont procédé à expérimenter par eux-mêmes ces effets prodigieux. Ainsi, en sept ans de 1791 à 1798, plus de cinquante articles et livres s'articulant autour de l'électricité animale furent publiée. En 1792, un de ces expérimentateurs, Alessandro Volta (1745-1827) rejeta l'idée de Galvani stipulant que l'électricité est propre à l'animal et en se basant sur le fait qu'une source d'électricité est constituée par la présence des deux métaux« électricité métallique », il en conclut que les tissus biologiques ne sont que des conducteurs passifs.

Pour écarter l'objection d'hétérogénéité du circuit révélé par Volta (1795) et prouver définitivement l'existence de l'« électricité animale », Galvani (1797) réalisa une expérience que Emil Du Bois Reymond (1818-1896), père de l'électrophysiologie, considéra comme l'expérience fondamentale de l'électrophysiologie. Dans cette expérience, Galvani, prépara les nerfs sciatiques de deux pattes de grenouille, il plia le nerf de l'une des pattes à la façon d'un petit arc. Ensuite il souleva le nerf de l'autre patte avec la baguette de verre puis le laissa tomber sur cet arc nerveux, en faisant attention à ce que le nerf dans sa chute touchât en deux points l'autre nerf courbé en arc et que l'extrémité sectionnée de celui-ci fut l'un des deux points. Cette expérience démontra que la production d'électricité est faite par un tissu vivant car l'excitation du nerf qui tombe révèle l'existence d'un courant. Il s'agit d'un courant qui s'écoule entre l'extrémité sectionnée et le reste du nerf et qu'on a appelé plus tard courant de repos (Kayser, 1963). Lorsqu'en 1800, Volta annonça la construction de la pile électrique

formée d'éléments multiples, il n'était plus possible de mettre en doute la production d'électricité par des contacts hétérogènes. De ce fait, l'idée d'une production d'électricité par les animaux, ardemment défendue par Galvani fut abandonnée.

II.1.2. Electrophysiologie du nerf

Le physiologiste Carlo Matteucci (1811-1868) découvrit grâce au galvanomètre, un courant qui s'écoulait de la surface de section d'un muscle vers la surface intacte et qui disparaît avec la mort du tissu. De cela, il conclut que ce courant est lié à la vie du tissu et il démontra l'existence de deux types de courants : un courant qui existait au repos et un courant qui se produisait pendant l'activité (Matteucci, 1838).

Du Bois Reymond (1841) soumit toutes les techniques d'investigation à une critique extrêmement serrée du point de vue physique et en déduit que Matteucci avait raison sur le fait de l'existence d'un courant électrique dans les nerfs et les muscles mais qu'il s'était trompé sur son sens car le courant va de la surface intacte positive (+) à la surface de section négative (-). De cela, Du Bois Reymond considéra que la production d'électricité est une propriété des éléments intrinsèques du nerf et du muscle. Il établit également que le courant musculaire ou nerveux diminue pendant l'excitation répétée, ce qui il a appelé la variation négative. Comme un courant continu n'excite le nerf sciatique de grenouille qu'au début et à la fin de son passage, Du Bois Reymond déduit que la variation négative devait être brève et discontinue (Kayser, 1963).

La conception d'influx nerveux au sens actuel n'apparait en réalité qu'après les travaux de Du Bois Reymond qui par la suite, s'est efforcé de mesurer les différences de potentiel à l'origine des courants décelés par le galvanomètre. En effet, lorsque le courant électrique passe du liquide sur une électrode métallique de dérivation, celle-ci se polarise suite à la formation d'une couche gazeuse provenant de la transformation de certains ions en molécules neutres. Le moyen de prévenir la polarisation avait été indiqué en 1854 par Jules Regnauld (1820-1895) et mis en œuvre en physiologie par Matteucci (1856), puis perfectionné par Du Bois Reymond (1859). Ce dernier mesura le potentiel de repos d'un muscle par la méthode d'opposition à l'aide d'une électrode formée d'une tige de zinc en contact avec une solution de sulfate de zinc. Comme cette solution est toxique, le contact avec les tissus est réalisé par l'intermédiaire d'une solution de chlorure de sodium. Plus tard, Jacques-Arsène Arsonval (1851-1940) proposa en 1889 une électrode plus simple constituée par de l'argent chloruré en contact avec la solution de Chlorure de Sodium (Kayser, 1963).

Du Bois Reymond expliqua les phénomènes électriques observés dans le nerf et le muscle en croyant qu'il y avait en permanence dans ces structures un courant électrique. En effet, il stipule que les forces électromotrices sont une partie intégrante du nerf et des muscles, elles se produisent par des structures de petites tailles probablement moléculaires, sont polarisées électriquement et orientées longitudinalement dans le muscle. Au moment de l'excitation, ces éléments électrogènes sont désorientés, ce qui diminua le courant de repos et produisit la variation négative (Du Bois Reymond, 1867).

En revanche Ludimar Hermann (1838-1914) en 1879, n'ayant pas distingué de courant électrique à la surface d'un nerf intact au repos ni de différence de potentiel, a été amené à proposer une nouvelle conception et à rejeter l'idée des forces électromotrices préexistantes de Du Bois Reymond. En fait, selon Hermann c'est la lésion au niveau du nerf qui crée le courant de repos : le protoplasme s'altère au niveau de la section et l'hétérogénéité donne naissance à un courant qu'il a nommé : courant de lésion. Par contre, les phénomènes électriques liés à l'activité ont une signification physiologique car ils apparaissent dans des tissus non lésés, il les a nommés: courants d'action.

Malgré l'interprétation à priori différente et la contradiction apparente entre les résultats des recherches de Du Bois Reymond et de Hermann, ils réhabilitent la notion, proposée par Galvani, d'une production d'électricité par les tissus vivants et posèrent de ce fait le problème des rapports entre les manifestations électriques d'un nerf et l'influx nerveux (Kayser, 1963).

En 1844, Johannes Peter Müller (1801-1858) annonça qu'il n'y a pas de moyens pour déterminer la vitesse du principe nerveux car il fallait avoir des distances considérables pour mesurer la vitesse d'une action qui ressemblait à la lumière (Müller, 1844). Cela a été contredit par Hermann Helmholtz (1821-1894) qui, en se basant sur la théorie du courant d'action proposée par Du Bois Reymond, a pu mettre en doute la conception de Muller. En effet, Helmholtz affirma que si les molécules polarisées pivotent sur elles mêmes au moment de la déviation négative. Ce mouvement ne peut être instantané et par conséquent la propagation de ce mouvement d'une molécule à l'autre doit se faire à une vitesse très inférieure à celle de la lumière (Helmholtz, 1850).

Ces considérations amenèrent Helmholtz à entreprendre la mesure de la vitesse de l'influx dans le nerf sciatique de grenouille. Dans un premier temps, il détermina le délai entre la stimulation et le début de la contraction du muscle gastrocnémien, ce qui lui a permis en 1850 de calculer la vitesse de l'influx nerveux qui est de l'ordre de 27 m/s. Cette détermination

constitua un saut dans le développement de la connaissance sur le système nerveux et apporta la première donnée nouvelle depuis l'Antiquité concernant la physiologie du nerf. Elle établit que le nerf a pour propriété de conduire à une vitesse finie. Il a pu donc libérer les chercheurs de l'idée paralysante selon laquelle les phénomènes nerveux se déroulaient à des vitesses impossibles à mesurer (Kayser, 1963).

Il faut remarquer que le raisonnement de Helmholtz indiquait que la variation négative représentait l'influx nerveux. Ce point ne fut établi clairement qu'en 1868 par Julius Bernstein (1839-1917) qui se proposait de déterminer la durée de la variation négative, c'est-à-dire du courant d'action. Suite à des expériences, Bernstein avait constaté deux faits : premièrement, la durée de la variation négative est très courte et deuxièmement la variation négative apparaît plus tardivement après la stimulation. Cette dernière constatation a conduit Bernstein à calculer la vitesse de propagation de la variation négative et de l'influx nerveux (Bernstein, 1868). Il apporta ainsi une contribution importante à la physiologie du nerf. En effet, l'étude du phénomène qui se propage le long du nerf est devenue possible puisque le physiologiste pouvait détecter les courants électriques qui accompagnaient ce phénomène. L'établissement de nouvelles notions eut pour effet de poser en termes nouveaux tous les phénomènes concernant le fonctionnement du nerf, plus particulièrement celui du mécanisme de la conduction de l'influx nerveux.

Le mécanisme grâce auquel l'influx nerveux se propageait le long de la fibre fut décrit par Hermann. En 1879, ce dernier avait remarqué que la physiologie de la fibre est dominée par deux lois : la loi du courant d'action où le segment excité d'une fibre est négatif par rapport au reste de la fibre et la loi de l'excitation électrique où la fibre est excitée lorsqu'elle est soumise à une polarisation négative. De ces deux lois, Hermann déduisait que des courants électriques locaux doivent s'écouler du segment positif au repos, vers le segment excité négatif. Ces courants déterminent une polarisation négative de la région contigüe au segment excité. En fait, ce chercheur, estimait que ces considérations constituaient les prémisses de l'étude du fonctionnement des fibres nerveuses et aussi une connaissance de la signification exacte de l'électricité animale (Hermann, 1879).

II.1.3. Théorie électrique de la neurotransmission

La découverte des applications biologiques de l'électricité a provoqué l'éclipse définitive de la forme de compréhension du fonctionnement du système nerveux proposée par Galien et perfectionnée par Descartes relative à la circulation d'une substance « esprits animaux » dans

les nerfs (Bennett, 1999). Ces découvertes ont coïncidé avec le développement extensif des disciplines histologiques, permettant la formulation de la théorie cellulaire et la conception subséquentede la «Doctrine des Neurones » qui s'est consolidée à la fin du XIXe siècle (López-Muñoz & Alamo, 2009).

La texture complexe du tissu nerveux empêchait de réaliser une coupe histologique convenable, observable entre lame et lamelle au microscope. Le premier qui a pu décrire une fibre nerveuse et observer la repousse de nerf était Felice Fontana (1730-1805). Il a dit en 1767 que les nerfs étaient constitués de minces cylindres contenant un liquide transparent et gélatineux, dont l'altération mécanique était responsable du mouvement chez les animaux.Parallèlement, René Dutrochet (1776-1847) a détecté en 1824 dans les ganglions d'escargots de très gros corps cellulaires et les considéraient comme étant de véritables sources d'énergies transmises au nerf et conduites jusqu'au muscle (Clarac & Ternaux, 2008).

La première théorie cellulaire a commencé à émerger dans les années 1830 et cela grâce aux travaux de chercheurs comme: Johann Evangelista Purkinje (1787–1869) qui a repéré dans le cœur et dans d'autres cellules nerveuses localisées dans le cervelet des fibres qu'il a nommé respectivement fibres de Purkinje et « cellules de Purkinje »; Gabriel Gustav Valentin (1810-1863) qui a publié en 1836 la première image microscopique du soma des cellules nerveuses (Valentin, 1836). Robert Remak (1815-1865), qui -2 ans après, en 1838 a décrit des cylindraxes et des fibres périphériques non myélinisées (Fodstad, 2001); Theodor Schwann (1810-1882), qui a découvert en 1839, la gaine de myéline et a démontré l'utilisation de l'oxygène dans le développement embryonnaire,...

En 1852, Rudolph Albert von Kolliker (1817-1905), rassembla et donna un corps à toutes les connaissances éparses qui ont contribué à la théorie cellulaire (Kolliker, 1852). Il avait stipulé quela cellule est constituée d'une membrane cellulaire, d'un corps rond spécial (noyau cellulaire) et un autre corpuscule plus petit (noyau corpuscule ou nucléole). De ce fait, on peut dire que ce dernier chercheur est celui qui a enraciné définitivement la définition de la cellule adoptée actuellement.

En 1855, Rudolf Ludwig Carl Virchow (1821-1902), pionnier dans l'étude des pigments pathogènes, a découvert les cellules gliales et a montré que toutes les cellules viennent de cellules. En fait, pour ce chercheur, la vie est essentiellement une activité cellulaire et donc, la vie des organismes est la somme de la vie de chacune de ses cellules. Par la suite, en 1862 Wilhelm Friedrich Kuhne (1837-1900), a démontré comment les nerfs moteurs se terminaient

dans les cellules musculaires chez la grenouille, il appela ce complexe « plaque d'extrémité » (Kuhne, 1862).

La structure de la cellule nerveuse est devenue plus claire par les travaux d'Otto Deiters (1834-1863) qui est l'un des chercheurs les plus marquants de cette époque en pleine exploration histologique. Ce chercheur a réalisé des coupes de tissus nerveux ayant permis de différencier les corps étoilés (corps cellulaires) de leurs prolongements. Il a distingué un prolongement avec une forme particulière qui s'étend d'une cellule nerveuse, il l'a nommé « cylindraxe », tandis que d'autres prolongements sont diversifiés et de petite taille et qu'il appela les «extensions protoplasmiques» (Deiters, 1865).

Les énormes progrès techniques dans le domaine histologique vers le milieu du XIXe siècle ont fourni aux scientifiques des connaissances plus précises sur la véritable structure des cellules en général et des cellules nerveuses en particulier (Lopez-Munoz et al., 2006). Cependant, malgré le triomphe général de la théorie cellulaire, pratiquement toute la communauté scientifique de l'époque considérait la structure intime des éléments nerveux comme étant constituée d'une sorte de «substance nerveuse diffuse» ou d'une anastomose des fibres nerveuses fines.

Dès lors, le problème devenait donc de comprendre comment les cellules s'assemblent pour constituer le tissu nerveux. Josef von Gerlach (1820-1896) était le premier à proposer la « théorie réticulariste» qui avançait que les terminaisons nerveuses centrales ne se terminent pas librement, mais auraient des prolongements protoplasmiques constituant un réseau de fibres nerveuses fines (Gerlach, 1872). Dans ce sens, du point de vue fonctionnel, Camillo Golgi (1844–1926), un des défendeur de la théorie réticulariste, attribuait aux prolongements des cellules nerveuses des fonctions purement trophiques ou nutritives et non des fonctions liées au phénomène de conduction de l'impulsion nerveuse (Golgi, 1891). En somme, la théorie réticulariste et la continuité du tissu nerveux vont dominer le champ des sciences du système nerveux (Dupont, 1999).

Dans les années 1880, nous assisterons à l'émergence de la doctrine des neurones qui a été à l'origine de la consolidation définitive de la théorie cellulaire (Lopez-Munoz et al., 2006). En effet, en 1886, Wilhelm His (1831-1904) et Auguste Forel (1848-1937) ont suggéré que les terminaisons des fibres nerveuses étaient libres. La preuve définitive de l'existence de neurones fut apporté par Santiago Ramon y Cajal (1852-1934) qui a été le premier à fournir des preuves morphologiques incontestables en relation avec la théorie de la terminaison libre

des neurones. Cela grâce à la combinaison de deux développements cruciaux: la technique de double imprégnation, issue de l'amélioration de la technique chromo-argentique de Golgi et la méthode ontogénique basée sur l'utilisation de matériel embryologique (Lopez-Munoz et al., 1997). En 1888, Santiago Ramon y Cajal formula la « loi du contact péricellulaire » qui stipule que les cellules nerveuses ne sont pas liées entre elles par « continuité » mais par « contiguïté ». Par ailleurs, His (1889) proposa le terme «dendrites» pour désigner les prolongements protoplasmiques de Deiters, tandis que von Kolliker (1896), donna le terme « axones » pour désignerles «cylindraxes» de Deiters.

Parmi les défenseurs les plus passionnés de la nouvelle théorie neuronale, il y avait Heinrich Wilhelm von Waldeyer (1836-1921) qui a proposé, en 1891, le terme «neurone» pour désigner les cellules nerveuses (Clarac & Ternaux, 2008). Dans la même année Ramon y Cajal formula la « loi de polarisation dynamique » qui préconisait que la circulation des influxest centripète dans les dendrites et centrifuge dans les axones ; il précisa ainsi la nature de l'indépendance physiologique de la cellule nerveuse (Dupont, 1999). L'introduction de concept de « synapse » par Charles Sherrington (1857-1952) en 1897 a favorisé la thèse neuronale et a résolu le problème des connexions entre les neurones. Pour Sherrington la synapse participa à l'émission du message nerveux.

L'introduction du concept de neurone au sein de la physiologie du système nerveux a suscité de vives réactions et aussi ce concept représenta le commencement de la théorie neuronale. En effet, le neurone désigne l'ensemble d'un corps cellulaire et de prolongements de grandes dimensions: dendrites et axone (Barbara, 2011). Aussi, c'est une cellule capable de réagir à une stimulation en produisant un influx nerveux et elle peut en outre transmettre à d'autres cellules l'état d'excitation par l'intermédiaire de zones spécialisées « synapses » (Taxi, 1980). L'énorme contribution de Ramon y Cajal à la science a été reconnue par le prix Nobel de physiologie et médecine en 1906 qu'on lui a décerné en récompense de ses études sur la structure du système nerveux. Il faut noter que le mérite de Cajal ne réside pas uniquement dans le fait d'être le premier scientifique qui a fourni la preuve morphologique de l'indépendance des neurones, il a également élaboré un modèle cellulaire de la texture du système nerveux qui a servi de base à la neurophysiologie, à la neuropathologie et à l'approche clinique de la maladie nerveuse. Ces apports étaient donc déterminants dans le développement des sciences du cerveau.

La preuve définitive de l'identité d'un neurone devra cependant attendre les travaux que Georges Palade (1912-2008) et Sanford Louis Palay (1918-2002) ont effectués dans les années cinquante. Les travaux de ces derniers sont dûs à la mise en fonction de microscopes électroniques qui a permis de photographier l'intervalle séparant les membranes des prolongements des neurones. Cela a corroboré et renforcé par la suite les hypothèses « neuronistes ».

Enfin, l'ensemble des travaux des électrophysiologistes et de physiologistes de l'époque ont contribué à l'établissement de la théorie électrique de la transmission nerveuse qui s'accordait parfaitement au style de la pensée d'une période de la science dominée par la physique. Les travaux de Louis Lapicque (1866-1952) dès 1907 ont permis de formuler les lois de l'excitabilité, ce qui a constitué un argument solide en faveur de la théorie électrique de la neurotransmission qui trouva ses origines dans la conception « réticulariste ». Dans cette conception, les neurones sont connectés par la fusion des membranes de neurones adjacents, ce qui forme un réseau, le long duquel est propagé le message nerveux sous forme d'un potentiel d'action (Laribi et al., 2010). De ce fait, la théorie électrique constituait une alternative très plausible à la théorie chimique.

II.2. Fondements et validation de concept de la neurotransmission chimique

II.2.1. Naissance du concept de neurotransmetteur (1857-1921)

Les travaux de Claude Bernard (1813-1878) sur le curare, un poison d'origine végétale qui servait à paralyser les proies, ont permis l'exposition de la théorie de la neurotransmission en termes chimiques. En effet, ce chercheur a été le premier à imaginer la présence d'un éventuel messager chimique au niveau d'une connexion particulière du système nerveux périphérique représentant la jonction neuromusculaire (Clarac & Ternaux, 2008). Claude Bernard a étudié en particulier le mode d'action du curare sur les nerfs d'une grenouille. En 1857, il a démontré que le curare bloquait la communication entre les nerfs et les muscles en intoxiquant la jonction nerf-muscle (Bernard, 1857). Cependant, même ce chercheur a pu confirmer l'effet bloquant du curare, il n'a pas été jusqu'à la détermination du site exacte de l'action du curare (Barbara, 2011).

En poursuivant les travaux de Claude Bernard, Alfred Vulpian (1826-1887) a montré, en 1866, que le curare bloquait la communication entre le nerf et la fibre musculaire, il supposait

que ce dernier agissait au niveau d'un élément non nerveux et non musculaire qu'il a nommé « plaque motrice » (Vulpian, 1866).

Dans le même sens, John Langley (1852-1925) examina en 1889, les effets de la nicotine et du curare sur la contraction musculaire chez le poulet. Il précisa que le curare inhibait l'effet de la nicotine et agissait comme un antagoniste. Ensuite, il dénerva les muscles gastrocnémien de grenouille et démontra que la nicotine comme le curare agissait au niveau de la surface du muscle à la hauteur de la terminaison nerveuse (Clarac & Ternaux, 2008). Bien entendu que le mode d'action de curare restait très spéculatif. Mais la théorie la plus adoptée était celle de l'action excitante ou paralysante des substances sur les terminaisons nerveuses elles mêmes et non sur l'organe terminal (muscle). En effet, les recherches menées concernant le mode d'action de curare et des substances toxiques jetaient une lumière indirecte sur la nature des processus qu'elles perturbaient et pouvaient déjà soupçonner une neurotransmission de nature chimique car si la neurotransmission pourrait être perturbée par une substance chimique, il était envisageable aussi que des substances chimiques prenaient part à la propagation de l'influx entre les cellules. Mais cette hypothèse n'avait pas de forte base pour être précise et déterminée à l'époque (Dupont, 1999).

Le physiologiste allemand Du Bois-Reymond qui, dès 1877, alors que la théorie dominante était celle de la transmission électrique, proposait l'hypothèse que le les nerfs pourraient stimuler les muscles au moyen de substances chimiques, bien qu'il n'ait fourni aucune preuve scientifique solide à l'appui de sa proposition: « *Parmi les processus naturels connus qui pourraient transmettre l'excitation, seuls deux méritent, à mon avis, d'être évoqués. Soit il existe à la surface du tissu contractile une sécrétion stimulante sous la forme d'une fine couche d'ammoniaque, ou d'acide lactique, ou d'une autre substance stimulante puissante, soit le phénomène est de nature électrique* » (Du Bois-Reymond, 1877). De ce fait, les neurophysiologistes commençaient à admettre progressivement au début du XX^{e} siècle que le fonctionnement du système nerveux, par delà sa traduction électrique reposait sur des processus chimiques. De cela, la découverte des messagers chimiques responsables de la communication interneuronale a été l'une des grandes avancées scientifiques du XXe siècle qui a permis aux chercheurs d'envisager l'intervention d'une substance jouant le rôle de messager lors du passage de l'influx d'un neurone à l'autre.

Jokichi Takamine (1894-1922) en 1901 a pu isoler l'adrénaline qui est une hormone de la famille des catécholamines, sécrétée par les glandes surrénales et le système nerveux central

et dans la même année Langley montra que pour certaines cellules musculaires lisses, la stimulation des nerfs sympathiques et les injections d'adrénaline produisaient une contraction et pour d'autres, un relâchement. Les expériences se poursuivaient, Thomas Elliott (1877-1961) en 1904 affirma que l'adrénaline pouvait transmettre l'influx et déclencher le mécanisme de la contraction musculaire en jouant le rôle de neurotransmetteur entre les fibres sympathiques et les muscles lisses (Elliott, 1904). Cette démonstration apporta la première démonstration d'une libération d'adrénaline par le système nerveux sympathique et aussi que cette substance (adrénaline) jouait le rôle d'un neurotransmetteur entre les fibres sympathiques et les muscles lisses. Cette hypothèse constitua la première démonstration de la neurotransmission chimique (Dupont, 1999). Si Elliott s'est intéressé aux fibres sympathiques, par la suite d'autres physiologistes ont examiné les effets de la stimulation des fibres parasympathiques qui induisaient des réponses contraires (relaxation) sur le cœur, l'intestin et les glandes endocrines. En 1914, Henri Dale (1875-1945) montra qu'une substance chimique, l'acétylcholine, produisait les mêmes effets que la stimulation électrique des fibres parasympathiques et ralentissait le cœur (Dale, 1914). Mais ses observations restaient incomplètes et vont constituer un champ d'investigation pour d'autres chercheurs.

Pour sa part, Langley, un an après la contribution cruciale d'Elliott, montra que la contraction de certains muscles causée par la nicotine est inhibée par le curare. Cet effet n'a pas lieu après dénervation et n'est donc pas dû à une action sur les terminaisons nerveuses présentes dans le muscle. Il démontra que la nicotine comme le curare devait agir sur des substances réceptrices situées à l'intérieur de la masse musculaire (Langley, 1905). En effet, il formula une hypothèse stipulant que dans les cellules, il existait deux types de substances réceptrices: « excitatrices » et « inhibitrices ». Une année plus tard, Langley a établi la notion de récepteur (Langley, 1906). Cette notion apporta un soutien important à la théorie chimique de la neurotransmission et ne s'imposera réellement que dans les années soixante.

En revanche Lapicque en défendant la théorie d'isochronisme refusa toute action chimique. Pour lui, les cellules nerveuses sont directement excitées par le potentiel d'action lui-même. Grâce à un circuit électrique approprié, Lapicque utilisa comme excitant de la cellule nerveuse un courant dont la forme est identique à celle du potentiel d'action. Dans ces conditions, il en déduisait que la transmission n'est possible que lorsque les éléments du circuit nerveux sont accordés chronologiquement, c'est-à-dire isochrones (Clarac & Ternaux, 2008).

Face à une théorie électrique déjà très élaborée, débouchant sur une compréhension globale du fonctionnement du système nerveux, les chercheurs défendant de la théorie chimique étaient peu nombreux et leurs arguments étaient bien faibles, c'est dans ce contexte difficile que surviendra le fameux rêve de Loewi.

Le premier argument convaincant en faveur d'un mécanisme chimique fut apporté par l'expérience fondamentale d'Otto Loewi (1873-1961) en 1921 et cela en travaillant sur les deux cœurs de grenouilles isolés. Lors de cette expérience, du liquide physiologique est prélevé dans un cœur de grenouille arrêté par l'excitation du nerf pneumogastrique, puis ce liquide est déposé sur un deuxième cœur (test) où il provoqua l'arrêt de battements. Lorsque le prélèvement est fait en dehors des périodes d'inhibition, le liquide était sans action sur le cœur test. Donc le liquide contenait une substance qui apparaissait uniquement au cours de l'excitation du nerf et qui agissait sur le cœur de la même manière que les influx nerveux. Loewi démontra ainsi la présence d'une substance vagale qu'il nomma « Vagusstoff » et il prouva qu'elle correspondait à l'Acétylcholine. Selon Loewi, il est clair que les excitations s'accompagnaient d'une libération de substances chimiques accélérantes et ralentissantes, qui sont soit dégénérées par le nerf soit par une modification de l'activité cardiaque (Loewi, 1921). La polémique durera dix-années et les expériences de Loewi continueraient à faire l'objet de différentes critiques plus ou moins virulentes due à la mauvaise reproductibilité de l'expérience.

II.2.2. Développement du concept de neurotransmetteur (1921- 1936)

Parallèlement aux découvertes sur la neurotransmission, les propriétés fonctionnelles des fibres sympathiques ont été explorées dans les années 1920. Walter Bradford Cannon (1871-1945) constata en 1921 que l'excitation des nerfs sympathiques hépatiques chez le chat produisait une accélération du cœur dénervé et une augmentation de la pression artérielle (Cannon & Uridil, 1921).

En collaboration avec Ernst Navratil (1902–1979). En 1926, Loewi a réussi en 1926 à identifier la substance qu'il a déjà nommé « vagusttoff » comme étant l'acétylcholine (Loewi & Navratil, 1926).

Ainsi, les expériences menées par Cannon sur la sympathectomie progressive ont montré l'existence d'une substance sympathomimétique transportée dans le courant circulatoire à partir d'une région stimulée et pouvait produire des effets à distance dans l'organisme.

Cannon et Zénon Bacq (1903-1983), ont abouti en 1931 à la conclusion que ces effets ne pouvaient s'expliquer que par la présence dans le sang d'une substance libérée au niveau des terminaisons nerveuses pendant la stimulation, ils l'ont appelé « sympathine » (Cannon & Bacq, 1931). Cette substance pouvait être considérée comme l'agent qui assurait la transmission de l'influx nerveux à l'effecteur, c'est-à-dire comme le transmetteur synaptique (Loewi, 1935).

Dale (1933) a définitivement confirmé le rôle de neurotransmetteur de l'acétylcholine dans le système nerveux périphérique des mammifères : après avoir stimulé le ganglion cervical supérieur du chat, précédemment perfusé, le liquide obtenu a été réinjecté dans l'artère d'un autre ganglion où la contraction de la membrane nictitante de l'animal a pu être observée (Dupont, 1999). L'année suivante, Wilhelm S. Feldberg (1900–1993) et John Henry Gaddum (1900–1965), également dans le laboratoire de Dale, ont effectué des recherches sur le rôle de l'acétylcholine dans le système nerveux des mammifères et ils ont conclu que le soutien de la transmission consiste à la libération au niveau de la synapse d'une petite quantité d'acétylcholine (Feldberg & Gaddum, 1934).

Les travaux de Loewi avaient abouti à faire admettre une neurotransmission chimique de l'influx à la terminaison des fibres du système nerveux autonome. Dale, Feldberg et Vogt (1936) identifièrent l'Acétylcholine qui se libérait au moment de la transmission synaptique. Le résultat sera en faveur de la théorie chimique mais cela reste insuffisant pour convaincre l'ensemble des physiologistes (Dale, Feldberg & Vogt, 1936).

II.2.3. Résistances au concept de neurotransmetteur (1936-1952)

a. Résistance liée à l'ambiguïté de mécanisme de la libération et de métabolisme de l'Acétylcholine

Selon les faits expérimentaux de Dale (1914), l'Acétylcholine apparaissait dans le liquide de perfusion des jonctions correspondantes et cela après stimulation des fibres nerveuses. De ce fait, Dale (1933) a conclut que l'acétylcholine était libérée exclusivement à partir des terminaisons nerveuses et ceci était un argument important en faveur de son rôle de neurotransmetteur (Dale, 1933).

En 1936, Loewi et Dale obtinrent le prix Nobel de médecine pour leur découverte de la transmission chimique de l'influx nerveux. En revanche, les expériences de Dale étaient loin d'avoir le caractère magistral et définitif pour défendre la théorie chimique de la

neurotransmission puisque les mécanismes de la libération, de synthèse, de stockage et dégradation de l'Acétylcholine restaient par ailleurs complètement inconnus.

Le problème qui se posait est lié à la forme (physique ou physico-chimique) sous laquelle se trouva l'Acétylcholine dans le système nerveux, cette question était d'un grand intérêt physiologique, car il fallait savoir comment cette Acétylcholine était protégée de l'action de l'estérase et comment se formait et s'accumulait le médiateur cholinergique. En effet, de nombreux chercheurs (Engelhart & Loewi, 1930; Chang & Gaddum, 1933; Binet & Minz, 1934; Henderson & Roepke, 1933; Brown & Eccles, 1934) avaient déjà démontré l'existence d'une forme liée de l'Acétylcholine, mais il fallait savoir si cette forme était une entité chimique définie ou si l'Acétylcholine était simplement de l'Acétylcholine retenue par les débris cellulaires.

Loewi (1937) montra qu'il y a de l'acétylcholine qui reste liée au tissu, alors que pour Trethewie (1938), il pensa que les membranes intracellulaires permettent de retenir l'Acétylcholine à l'intérieur de la cellule. Ainsi, que Quastel considéra que l'acétylcholine liée doit être une association avec un constituant spécifique des débris cellulaires formant un complexe protéique (Mann, Tennenbaum & Quastel, 1938-1939). Mais ces résultats sont contradictoires à ce qu'avaient proposé Elliott et Henderson (1951), qui considéraient que l'Acétylcholine liée n'est pas un intermédiaire nécessaire pour synthétiser de l'Acétylcholine libre.

Entre 1943 et 1946, David Nachmansohn (1899-1983) démontrait la présence de la choline acétylase dans une grande variété de tissus et de fibres. En fait, dès 1941, Nachmansohn envisagea pour l'acétylcholine un rôle intracellulaire. Cette enzyme jouait un rôle dans la conduction nerveuse et aussi elle pouvait modifier la perméabilité membranaire des axones aux ions (Nachmansohn & Meyerholf, 1941). Il fonda son argumentation sur les caractéristiques de l'enzyme, la nécessité d'un couplage énergétique et chimique de l'acétylcholine à l'activité nerveuse, c'est-à-dire aux phénomènes physiques accompagnant la propagation de l'influx, production d'électricité et de la chaleur. C'est en cela qu'il s'opposera à la théorie neurohumorale de Dale mais aussi à la théorie ionique de Alan Liyod Hodgkin (1914-1998) et Andrew Fielding Huxley (1917- 2012) en 1952 qui expliquait la conduction par un phénomène de diffusion des ions grâce au gradient électrochimique sans intervention directe de la substance chimique .

b. Résistance liée à l'action post-synaptique du neurotransmetteur

Les arguments en faveur de la théorie neurohumorale (théorie chimique) présentés par Dale et ses collaborateurs n'ont pas pu convaincre un des principaux opposants à la théorie chimique qui est John Carew Eccles (1903-1991). Cet électrophyisiologiste fonda initialement ses objections sur les délais synaptiques, l'action de l'acétylcholine et de l'ésérine sur la jonction neuromusculaire. Eccles (1935) a montré que les transmissions rapides ne pouvaient pas être de nature chimique. Il pensait que l'Acétylcholine pouvait ne pas être le seul facteur de la neurotransmission, il y aurait un double processus de transmission ; à la fois électrique rapide et chimique très lent, ce qui attribue un rôle secondaire à l'Acétylcholine et qui reste en fin de compte un processus électrique (Eccles, 1935). Par ce résultat, Eccles attribua à l'acétylcholine un rôle secondaire dans le processus de la neurotransmission qui restait en fin de compte, de nature électrique (Dupont, 1999).

Selon la théorie neurohumorale, le médiateur doit reproduire l'excitation du nerf. Si cette identité d'action était réalisée, elle pourrait être un argument important pour l'hypothèse de la neurotransmission. De ce fait, Dale, Georges Brown (1914-1985) et Wilhelm Feldberg (1900-1993) vont préparer des arguments théoriques et expérimentaux contre les idées défendues par Eccles et les défendeurs de la théorie mixte où l'acétylcholine jouait un rôle secondaire dans la transmission. Pour Brown, Dale et Feldberg (1936), rapprochaient des conditions d'efficacité dans lesquelles l'acétylcholine exerçait son action dans la secousse physiologique, ils pratiquaient par les injections dans l'artère d'un muscle vasculairement isolé pour éviter toute déperdition de la dose. Ils admettaient que si l'Acétylcholine n'est pas immédiatement hydrolysée par le cholinestérase, elle va rester au niveau de la synapse et va exercer un effet curarisant entraînant une paralysie et une baisse du tonus musculaire (Brown, Dale & Feldberg, 1936).

A cela, s'ajoute une autre difficulté retirée depuis les observations de Brown (1937) sur la traduction électrique de la « secousse acétylcholinique » qui montraient que la secousse acétylcholinique se présentait comme une réponse périodique et non comme une variation électrique unique. C'est pour cette raison, que Brown deviendra peu à peu partisan de la théorie chimique (McIntosh & Paton, 1974). Pourtant pour Eccles (1937) défenseur de la théorie mixte où le potentiel d'action pré-synaptique est responsable d'une excitation initiale brève à la jonction neuromusculaire, au ganglion sympathique et la substance transmettrice; l'Acétylcholine est responsable de la dépolarisation résiduelle prolongée et l'ésérine agirait en

augmentant l'excitation initiale (Debru, 1987; Eccles, 1982). Les débats sur ce potentiel auront tendance à s'immobiliser jusqu'à l'apparition des mesures des potentiels intracellulaires et des microélectrodes au début des années cinquante. L'électrophysiologiste Eccles, bâtit un système sur l'hypothèse d'une réponse locale post-synaptique, en s'inspirant du modèle de synapse artificielle proposée en 1942 par Angélique Arvanitaki (1901-1983), il avait l'intérêt de prouver la possibilité d'une transmission de nature électrique en l'absence de tout intermédiaire chimique. Eccles (1946) intégra des nouvelles données issues de la révolution microphysiologique pour concevoir un modèle de transmission électrique (Eccles, 1946).

Pour écarter les ambiguïtés, il fallait montrer que l'application au niveau post-synaptique reproduit exactement la réponse électrique post-synaptique obtenue par la stimulation du neurone pré-synaptique. De ce fait, Feldberg, Fessard et Nachmansohn (1940) réalisèrent une expérience cruciale nommée « Expédition d'Arcachon » pour démontrer que l'acétylcholine avait une action électrogène. Pour cela, ils ont injecté l'acétylcholine dans l'organe électrique de la torpille de manière à ce que cette substance accède au niveau cellulaire. De sa part, Nachmansohn montra que l'Acétylcholine commanda la propagation de l'influx nerveux grâce à l'action intracellulaire alors que Feldberg a lui attribué un rôle de signal de communication intercellulaire. En effet, les trois chercheurs (Feldberg, Fessard et Nachmansohn) ont montré que les injections d'acétylcholine dans l'organe électrique perfusé avec une solution contenant de faibles concentrations d'ésérine pouvaient générer des potentiels (Feldberg, Fessard & Nachmansohn, 1940). Pourtant, si cela confirmait que l'Acétylcholine est électrogène, cela n'impliquait pas que cette action fut limitée à la synapse, au niveau de la transmission. Malgré que l'intérêt et la signification historique de l'expérience d'Arcachon étaient incontestables, mais elles ne représentaient pas la preuve scientifique définitive de la transmission neurohumorale.

A l'instar de ces résultats, Changeux (1976) soulignait que:« ces chercheurs apportent la première démonstration directe que l'application de l'acétylcholine sur une membrane biologique peut entrainer un changement de ses propriétés électriques. L'organe électrique convertit le signal chimique en signal électrique » (Changeux, 1976).

c. Résistance liée à l'ambiguïté des preuves pharmacologiques

L'effet de l'acétylcholine et de ses analogues sur les jonctions synaptiques était un des faits essentiels sur lesquels se basaient la théorie neurohumorale. L'ambiguïté des preuves

pharmacologiques en faveur de la neurotransmission chimique était l'un des principaux arguments de partisans de l'hypothèse électrique.

A la base d'un ensemble de données pharmacologiques sur les effets sélectifs des substances neurolytiques, Monnier et Zénon Bacq (1903-1983) en 1935 et Lapicque (1936), ont distingué une phase rapide et une phase tonique lente de la contraction musculaire. Aussi, ils ont mis en évidence un effet subsistant après élimination du médiateur chimique qui est interprété comme étant dû à l'influx nerveux en tant que phénomène électrique. Ce genre de données pharmacologiques vont entrainer l'apparition des théories mixtes qui cherchèrent à concilier théorie électrique et théorie chimique (Monnier & Bacq, 1935; Eccles, 1936; Eccles, 1937; Lapicque, 1936), leurs point commun est d'attribuer à l'Acétylcholine un rôle secondaire dans le processus de la transmission, en préservant l'essentiel de la transmission électrique.

Ainsi, il sembla que la pharmacologie dut beaucoup à la théorie neurohumorale, dont la fécondité potentielle a été assez vite perçue. La théorie neurohumorale va stimuler les recherches des relations entre la structure chimique et l'activité pharmacologique des médicaments. En dépit des efforts de pharmacologues comme Bacq, le mode d'action des drogues au niveau synaptique ne pouvait que rester hypotétique. Cependant, Kuffler (1949) a déjà apporté des arguments plus convaincants contre l'hypothèse électrique par le fait que les transmissions neuromusculaires et ganglionnaires étaient réalisées par l'Acétylcholine. Aussi, il y avait un accord que la transmission synaptique fut probablement électrique (Eccles, 1964). A cette époque, Eccles fut l'un des plus opposants à la théorie de Dale, avec le biochimiste Nachmansohn, leurs travaux contribueront de façon décisive à la construction de la synapse.

En résumé, il nous apparait que l'approche biochimique n'était pas assez mature pour intégrer toutes les données sur la neurotransmission chimique, l'approche morphologique était encore incomplète, l'électrophysiologie mettait en évidence une hétérogénéité des procédés électriques du neurone qui orienteraient vers une pluralité des mécanismes, aussi les preuves physiologiques et pharmacologiques étaient ambigües. Toutes ces difficultés ont ralenti l'entrée en maturité du de neurotransmetteur qui n'était pas complètement intégré dans la science et ceci en dépit des progrès de la neurotransmission chimique dans le système nerveux périphérique. L'examen des présentations de la théorie de Dale par certains manuels et traités de physiologie de l'époque, ont pu laisser une grande place à la théorie électrique et à cet égard significative (Houssaye, 1950; Soula, 1947). A cet égard, la théorie chimique n'entrait

en maturité qu'au milieu de XXe siècle et cela avec les progrès dans le domaine de la microscopie électronique et de la chimie qui vont céder le pas à l'apparition d'un ensemble d'argument en faveur d'une transmission chimique.

II.2.4. Maturité du concept de neurotransmetteur (1952-1970)

Les années cinquante constitua une époque où les discussions autour de la neurotransmission devinrent moins polémiques, mais se poursuivirent bien au-delà des années cinquante. En effet, on assista à l'abandon de la théorie électrique et le renouveau de la problématique de la neurotransmission dû à l'affinement des techniques de mesures biochimiques et électroniques. Au fur et à mesure de l'introduction combinée de l'électronique et des techniques biochimiques fines dans le laboratoire de neurophysiologie, l'argumentation de partisans de la théorie électrique s'affaiblira, tandis que la théorie chimique gagnera en cohérence et s'étendra (Dupont, 1999).

A partir de cette époque, la théorie chimique va évoluer dans deux sens:

- La construction d'un modèle moléculaire complet du fonctionnement de la synapse et de l'analyse complète du signal nerveux.
- L'extension du concept de neurotransmetteur au niveau du système nerveux central.

II.2.4.1. Physiologie de la synapse

a. Explosion des technologies

A partir des années 1950, l'instrumentation électronique fut systématiquement utilisée. En effet, pour comprendre comment se produisait le signal nerveux, et comment il se transmettait dans les synapses, il fallait développer des outils suffisamment sophistiqués pour détecter, amplifier et enregistrer des variations de potentiels très faibles et très rapides.

Les progrès dans ces différents domaines, ainsi que dans la miniaturisation des techniques, seront très significatifs et cela par l'apparition des techniques de microdissection inaugurée et les microélectrodes qui rendaient possible la mise en évidence de potentiels extracellulaire et aussi la mesure de potentiels intracellulaires (Kayser, 1963). La stimulation électrique fut aussi fortement perfectionnée pour arriver aux stimulateurs électroniques. Cette révolution électronique participa à l'apparition de la microscopie électronique. De ce fait, l'approche morphologique pourra enfin apporter sa contribution décisive à la théorie chimique de la neurotransmission. Cette innovation, n'a pas touché que le domaine électronique, par contre

elle a touché aussi la biochimie, les progrès seront également considérables, notamment après l'introduction systématique des techniques isotopiques.

Autour de cette synapse qui se construit, les données électrophysiques, morphologiques et biochimiques s'assembleront comme les « *pièces d'un puzzle* », selon l'expression de Euler Von (1978). De cela, il nous apparait que l'évolution technologique a eu un impact historique sur la théorie de la neurotransmission. Pour cette raison, il faut reconsidérer la problématique plus générale de la nature du signal nerveux telle qu'elle fut envisagée à l'époque.

b. Nouveau contexte électrophysiologique et théorie ionique

Hodgkin, fut l'un des plus grands électrophysiologistes du XX^{e} siècle avec Eccles, il s'intéressait à l'étude de l'excitabilité des membranes cellulaires et de la conduction nerveuse. En 1934, il a montré que la conduction de l'influx resta possible au-delà d'un bloc de conduction dû à un refroidissement local d'un nerf et cela est en faveur de la théorie des circuits locaux, mais cette théorie sera admise qu'après ses publications de 1937, c'est-à-dire que la propagation est électronique (Hodgkin, 1937).

Cole et Curtis (1938) montrèrent que la conductance membranaire augmente durant l'émission du potentiel d'action, ce qui apporta la première preuve que ce phénomène résultait d'un mouvement d'ions à travers la membrane, mais il fallait identifier les ions en cause , ce qui a nécessité un long travail de la part de Hodgkin, Katz et Huxley (1947), qui vont proposer le modèle qui émergera plus tard des techniques de voltage imposé, à savoir augmentation de la perméabilité membranaire au Na^{+} puis au K^{+}. En Angleterre et aux Etats Unis, on commença à utiliser les techniques isotopiques en mesurant les effets de la stimulation sur les mouvements des ions marqués à travers les surfaces membranaires de l'axone géant de Calmar (Young, 1936).

A partir de ces données, HodgKin et Huxley (1952) vont établir un modèle mathématique qui permettait de décrire la forme du potentiel d'action à différentes concentrations ioniques à l'intérieur et à l'extérieur de l'axone. Ces résultats vont donner naissance à la théorie ionique de la conduction. Grâce aux électrodes intracellulaires, on mettra en évidence les potentiels post-synaptiques. En effet, Fatt et Katz (1951) réalisèrent les premiers enregistrements intracellulaires sur la jonction neuromusculaire, l'année suivante, Brock, Coombs et Eccles (1952) détectent des potentiels post-synaptiques d'excitation (PPSE) et potentiels post-

synaptiques d'inhibition (PPSI) quand à Fatt et Katz (1952), ils détectèrent des potentiels miniatures chez les crustacés.

L'utilisation de ces électrodes permettra à Del Castillo et Katz (1954) et Coombs, Eccles et Fatt (1955) d'aboutir à la démonstration que le Potentiel de Plaque Motrice (PPM) et PPSE correspondirent respectivement à une modification transitoire de la perméabilité de la membrane et du neurone postsynaptique aux ions Na^+ et K^+ présents dans le milieu, autrement dit la mise en place de la théorie de la mécanique ionique des potentiels synaptiques.

c. Preuves électrophysiologiques de l'existence des synapses chimiques

Après avoir considéré cette dynamique générale, on comprenait mieux comment certaines données électrophysiologiques vont être considérées comme des preuves de l'existence des synapses chimiques:

- Existence de l'inhibition post-synaptique: selon le modèle électrique proposé par Eccles (1947), la microélectrode enregistra une variation négative: une hyperpolarisation membranaire. Les potentiels post-synaptiques d'inhibition (PPSI) mis en évidence ne pouvaient être engendrés par l'arrivée d'un potentiel d'action. Cependant, il fallait intervenir une substance inhibitrice de nature chimique. De ce fait, Eccles s'est converti définitivement à la théorie chimique.
- Absence de couplage électrique: cette absence de couplage électrique entre les membranes a pu être définitivement montré sur les synapses du ganglion étoilé de Calmar (Hagiwara & Tasaki, 1958 ; Bullock & Hagiwara, 1957). Cela était montré après que Fatt et Katz (1951) et Brock, Coombs & Eccles en 1952 et 1953 ont prouvé qu'il n'y a pas de variation de potentiels détectables à travers la membrane post-synaptique lorsque l'influx pré-synaptique se propage dans les terminaisons nerveuses.
- Propagation de l'influx dans les terminaisons pré-synaptiques: puisque l'influx se propageait toujours à proximité des terminaisons pré-synaptiques, les électrodes intracellulaires ne pouvaient pas nous renseigner sur l'état de la propagation, c'est pour cela, il fallait combiner ces enregistrements intracellulaires avec celles extracellulaires, dans le but d'explorer le versant pré-synaptique. Il serait ainsi, établi que l'influx pré-synaptique n'envahit pas entièrement les membranes des terminaisons nerveuses (Takeuchi & Takeuchi, N., 1962; Hubbard & Schmidt, 1963). Ce développement superficiel des terminaisons nerveuses a pour effet de diminuer la

densité de courant qui s'y propage mais sans affectée la libération du neurotransmetteur.

- Inexcitabilité électrique des membranes post-synaptiques: Grundfest (1967) généralisa la notion de l'inexcitabilité et considéra que toute membrane qui produisait une électrogenèse de type gradué sous l'effet d'un intermédiaire chimique est électriquement inexcitable.
- Présence d'un délai synaptique irréductible: lors des travaux de Brown et Eccles (1934), il a été montré qu'un influx isolé par la fibre pré-ganglionnaire déclenche un autre influx isolé dans la fibre post-ganglionnaire et que le temps de diffusion de la substance chimique à travers la fente synaptique est trop rapide. Cela est dû à la diversité morphologique des synapses. Ceci a longtemps conforté Eccles dans l'idée que les transmissions rapides ne pouvaient pas être chimiques. Au milieu des années cinquante, l'apparition de la microscopie électronique a pu démonter une opposition des membranes pré et post-synaptiques et même déterminer les dimensions de la fente synaptique ce qui est devenu en faveur de la transmission chimique. Par ailleurs, le délai synaptique, irréductible devenait incompatible avec la transmission électrique.
- Activité post-synaptique de l'acétylcholine: la mesure des potentiels intracellulaires représenta un outil essentiel pour l'évaluation de l'activité post-synaptique des transmetteurs supposés et des substances avec leurs effets. Au cours des années cinquante, les électrodes intracellulaires permutèrent l'enregistrement des effets électriques produits par neurotransmetteurs déposés directement à proximité de la membrane post-synaptique à l'aide d'une micropipette. En effet, les récepteurs de l'acétylcholine étaient localisés exclusivement sur la face externe de la membrane de la plaque motrice, ce qui ruina l'hypothèse de Nachmansohn concernant l'action intracellulaire de ce médiateur. En effet, l'action excitatrice ou inhibitrice d'un médiateur est liée aux propriétés de la substance réceptrice et non du médiateur lui-même, autrement dit, son mode d'action dépendait des propriétés du site récepteur et la réceptivité d'un neurone n'est pas limitée à un seul médiateur (Tauc & Gerschenfeld, 1961). L'école d'Eccles jouera un rôle direct dans l'élaboration des preuves de l'existence de synapses chimiques. Il a étudié aussi la sommation et les circuits neuronaux. Curtis et Eccles (1958), à l'aide des techniques de micro-injections, vont identifier la première synapse centrale à intermédiaire excitateur (Acétylcholine).

d. Potentiels miniatures, théorie vésiculaire et construction de la synapse cholinergique

Les avancées sur les bases ioniques de la conduction nerveuse furent décisives pour la compréhension des potentiels synaptiques. Grâce à l'instrumentation et les techniques adéquates, on pouvait même s'interroger sur un ensemble de caractéristiques électriques de la transmission synaptique, qui la différencient de la simple conduction intraneuronale comme l'irréciprocité de la propagation, les délais synaptiques, les effets électriques résiduels persistants après l'excitation.

Par ailleurs, on a vu que l'autre conséquence de la révolution électronique avait été l'apparition du microscope électronique au milieu des années cinquante, qui a permet la visualisation de la fente synaptique ; ce qui a confirmé définitivement, la thèse de la discontinuité (De Robertis & Bennett, 1954; De Robertis & Bennett, 1955; Palade & Palay, 1954); et aussi la présence des vésicules qui s'accumulèrent dans les portions terminales des neurones (De Robertis & Bennett, 1955). L'aspect chimique de ces vésicules va constituer un grand intérêt pour Del Castillo et Katz (1956) qui vont donner naissance à la théorie vésiculaire et que ces vésicules sécrètent de l'Acétylcholine, cela ne fut que dans la décennie suivante, que la technique de fractionnement subcellulaire développée par Whittaker et al. (1964) a permis de prouver que les vésicules contiennent de neuromédiateur.

Dans les années soixante, la théorie vésiculaire se renforça après les recherches utilisant la dégénérescence nerveuse (Birks, Katz & Mildi, 1960). Cette théorie va se généraliser pour atteindre le niveau ganglionnaire (Nishi & Koketsu, 1960) et le niveau central (Katz & Miledi, 1963). En effet, cette théorie vésiculaire va avoir une contribution décisive à la théorie chimique de la neurotransmission et à la construction de la synapse cholinergique.

e. Construction de la synapse noradrénergique

Euler Von (1930) a pu mettre en évidence l'hormone commandant la motilité intestinale qui est supposée : l'Acétylcholine, puisque l'effet n'étant pas inhibé par l'atropine, il en conclut que cette substance n'est ni la choline ni l'acétylcholine mais constitue plutôt un nouveau principe actif (Euler Von &Gaddum, 1931). Appuyé par d'autres études ultérieures avec Gaddum, Euler a montré que c'est un polypeptide (Euler Von, 1936), baptisé, qu'il a nommé substance P (Gaddum& Schild, 1934), ce polypeptide sera isolé et purifié par Pernow (1953).

En 1945, Euler Von a montré que la « Sympathine » est de la noradrénaline et Holtz (1947) montrera que cette noradrénaline est également une hormone médullosurrénalienne chez le chat. L'utilisation des méthodes basées sur l'histochimie de fluorescence permettant la coloration des terminaisons noradrénergiques et aussi celles adrénergiques. Les contributions histochimiques d'Axelrod (1963) vont permettre la construction biochimique de la synapse noradrénergique.

f. Problématique de la réception

La théorie neurohumorale va confirmer la notion intuitive de récepteur telle qu'elle avait été formulée par Langley (1906). Elle va contribuer à la construction d'une théorie des récepteurs qui tenta de donner une base rationnelle à la pharmacologie en expliquant le mode d'action des médicaments au niveau moléculaire. Clark (1933) précisera sa théorie, dont l'idée est que l'action d'une drogue est analogue à un processus physique d'adsorption. La réponse fut proportionnelle au taux « d'occupation » du récepteur et la réponse maximale est obtenue lorsque la totalité des récepteurs est occupée.

Gaddum (1927) a participé aux recherches sur les neurotransmissions chimiques, il s'intéressait au problème de la standardisation des dosages biologiques, aussi il s'intéressait aux phénomènes d'antagonisme. Ce chercheur va par la suite formuler la notion d'antagonisme compétitif en 1937 (Gaddum, 1937).

La problématique de la réception n'évoluera pratiquement pas jusqu'au milieu des années cinquante. Entre 1954 et 1956, Ariens (1954) et Stephenson (1956) vont proposer une modification de la théorie pharmacologique des récepteurs de Clark. Ces deux chercheurs envisageaient que l'action d'une drogue sur récepteur est analogue à une interaction enzyme-substrat. Paton (1959) proposa devant la société britannique de pharmacologie l'idée selon laquelle l'excitation du récepteur pourrait être fonction du degré d'association de la drogue avec le récepteur et non plus du nombre de récepteurs occupés.

Les propriétés coopératives de la membrane avaient été montrées par l'allure sigmoïde de leur réponse aux agonistes et sa modification en présence d'autres agonistes ou antagonistes (Changeux et al., 1967). Les hypothèses allostériques de Changeux concernant la réception membranaire appartiennent déjà à la pharmacologie moléculaire (Debru, 1987). Il faut mentionner que Ahlquist (1948) avait très tôt proposé une classification des récepteurs adrénergiques pour rendre compte de l'action des drogues.

Vers 1954-1955, Nachmansohn mit au point un dispositif ingénieux permettant la mesure directe des potentiels à travers un système de membranes actives ou au repos, afin d'étudier comment les substances agissent sur les potentiels et par la suite il chercha à donner les caractéristiques chimiques des récepteurs (Nachmansohn, 1959).

En fait, au milieu des années soixante, on ne connait pratiquement rien sur la structure chimique des sites actifs et la distribution des récepteurs malgré les travaux de Krupka et Laidler (1961) qui ont proposé une représentation tridimensionnelle du site actif de l'acétylcholinestérase mais cela ne pouvaient mener loin l'élucidation des structures (Triggle, 1965), donc il fallait pouvoir isoler les récepteurs. En effet, Changeux aboutira finalement, à l'isolement effectif du récepteur de l'acétylcholine (Changeux, Kasai & Lee, 1970).

En résumé, grâce à la révolution technologique, la démarche analytique de la biologie sera poussée jusqu'à son terme moléculaire. L'intégration des conceptions moléculaires rendait possible la rencontre des disciplines (morphologie, physiologie et biochimie).

II.2.4.2. Extension centrale

La découverte du rôle des neurotransmetteurs au niveau des extrémités nerveuses, à la jonction avec les éléments effecteurs ou dans les synapses ganglionnaires, soulevait naturellement la question des synapses des centres nerveux. La théorie des médiateurs allait elle pouvoir se généraliser au niveau central?

L'étude de la neurotransmission centrale posait des problèmes considérables liés à l'anatomie complexe du système nerveux central, aussi l'existence d'une barrière hémato- encéphalique plus ou moins imperméable (Kayser, 1963). Les études de la neurotransmission chez les Invertébrés (Mollusques et Crustacés) furent plus faciles, au contraire de celles chez les Vertébrés. A cela s'ajouta l'obstacle lié aux caractéristiques du fonctionnement nerveux et à l'activité réflexe qui restaient compatible avec la transmission électrique. A cause de tous ces obstacles, la théorie des médiateurs ne pourra pas investir le cerveau et la chimie cérébrale fut alors structurale et elle va connaitre un essor considérable et tendra à devenir véritablement fonctionnelle (Clarac & Ternaux, 2008). La pénétration de la théorie au niveau central est une mutation dont on a besoin de comprendre ces conditions et qui va par la suite représentera les débuts de la messagerie chimique cérébrale (Dupont, 1999).

a. Problématique de la neurotransmission centrale et approche réflexologique

La question de la neurotransmission centrale s'est très rapidement révélée fascinante, comme nous avons vu, que c'était l'étude de l'activité réflexe qui avait suggéré à Sherrington l'idée de la synapse. Dès 1906, il considéra que le mécanisme de transmission devait être le même dans toutes les synapses (Sherrington, 1906). Les premières expériences de Loewi, nous a permis d'appliquer le mécanisme chimique au niveau central.

A partir des années trente, la recherche neurophysiologique va progressivement se détourner de l'analyse des réactions des effecteurs périphériques et des nerfs, vers celles des cornes de la moelle et vers la physiologie de la moelle épinière elle-même. Elle s'attacha en particulier à l'évaluation précise du décours temporel des phénomènes centraux aux cours de l'activité réflexe. D'autres caractéristiques vont être étudiées par l'école de Sherrington, notamment, les phénomènes de sommations (temporelles et spatiales). Il postula l'existence d'un « état d'inhibition centrale » analogue à celui de l'état d'excitation centrale (Sherrington, 1932).

Dès lors, la préoccupation des neurophysiologistes sera de déterminer le mécanisme de ces états d'excitations et inhibitions d'origine centrale afin de réaliser l'intégration nerveuse. Dans ce sens, différentes théories portantes sur la nature de ces phénomènes centraux vont être proposées. Pourtant, jusqu'à la fin des années trente, l'activité réflexe est décrite en termes purement électrique et ceci explique en partie les difficultés initiales de la théorie humorale au niveau central.

b. Nouveau contexte neuropsychochimique

Les premiers principes de l'organisation synaptique centrale ont été déduits de l'étude des réflexes médullaires. Eccles donnera une base électro- physiologique au niveau cellulaire aux états d'excitation et inhibition postulés par Sherrington grâce aux potentiels post-synaptiques excitateurs et inhibiteurs (PPE et PPI), ces synapses avaient un fonctionnement chimique.
Dans les années quarante du siècle dernier, il existait une « logique neuronale » relativement puissante, qui rendait septiques la plupart des électrophysiologistes, vis-à-vis d'une neurotransmission centrale de nature chimique.

Durant la moitié du XX^{e} siècle, les études et l'intérêt des physiologistes, s'est déplacé vers la base du cerveau. A côté de cette logique neuronale s'est élaborée une logique endocrinienne, celle de l'axe hypothalamo-hypophysaire. Le déterminisme neurohumoral, alors qu'il n'avait

pu s'installer dans l'activité réflexe et la moelle, va le faire dans les réactions émotionnelles. Cette nature humorale de la transmission hypothalamo-hypophysaire a été montré par les travaux sur la neurosécrétion des Scharrer (1963), de Bargmann (1949); ainsi que ceux de Harris (1950) et de Benoit et Assenmacher (1953). Tous ces travaux furent discutés et contestés, ainsi, à la section de physiologie de Cambridge dominée par les tenants de l'influx nerveux (Adrian, HodgKin, Huxley, …), il était assez difficile d'admettre que le cerveau n'était pas seulement une machine «électrique mais aussi une glande ».

La neuroendocrinologie connaitra l'essor que l'on sait avec l'isolement et l'élucidation de la structure des premiers facteurs hypothalamiques en 1969. Les conceptions neurohumorales vont être aussi favorisées par un nouveau contexte psychophysiologique accordant une importance aux facteurs humoraux qui ont un rôle dans la genèse des émotions. Aussi, on va assister à un développement de l'idéal d'une psychophysiologie rationnelle, qui reposerait sur les bases endocriniennes et nerveuses solides.

L'apparition des psychotropes qui vont inaugurer l'ère de la psychopharmacologie, va imprimer l'impulsion décisive, la théorie chimique concernant le mode d'action des psychotropes va, proposer une richesse d'interprétation. Cette théorieneurohumorale va permettre de comprendre le mode d'action des drogues psychotropes nouvellement synthétisés, mais celles-ci deviendront du même coup de nouveaux outils de recherche. Ce renouvellement du contexte psychochimique qui va faciliter l'avènement de la neurotransmission centrale. La perspective d'un champ nouveau d'investigation va stimuler les recherches et représenter une impulsion nouvelle pour la théorie.

c. Neurotransmetteurs classiques et nouvelles amines cérébrales

- **Acétylcholine**

La vieille Acétylcholine, naturellement, premier neurotransmetteur central putatif, fut la source d'un ensemble de déceptions. Nachmansohn (1941) avait montré que la concentration en estérase est plus importante dans la matière grise que dans la matière blanche et McIntosh(1941) avait prouvé que c'était la même chose pour l'Acétylcholine, ce qui serait conforme à l'idée d'une localisation synaptique. Ces études suggèrent le rôle central de l'Acétylcholine, mais il fallait aussi des preuves physiologiques directes de sa fonction de neurotransmetteur.

Curtis et Eccles (1958) montrèrent que l'application de l'Acétylcholine et des drogues avaient rigoureusement les mêmes effets électriques que ceux enregistrés au niveau des synapses ganglionnaires à une stimulation électrique. Pour McLennan (1963) conclut qu'il n'y avait jusqu'alors qu'une seule synapse cholinergique au niveau du système nerveux central des Vertébrés.

Les techniques de stimulations chimiques utilisant le critère d'identité d'action furent systématiquement employées sur les neurones centraux: l'application électrophorétique dans l'environnement de la cellule de substances chimiques permit l'enregistrement et la comparaison des potentiels spontanés et l'étude de l'influence des drogues sur ces stimulations.

Au milieu des années soixante, les auteurs qui admettaient les fortes présomptions en faveur du rôle de l'Acétylcholine comme neurotransmetteur central convenaient aussi que la plupart des synapses n'étaient certainement pas cholinergiques (Eccles, 1964; Hebb & Morris, 1969)

- **Noradrénaline**

Après un ensemble de travaux portant sur la libération de la noradrénaline, il était évident que la noradrénaline pouvait au moins être présente dans les nerfs vasomoteurs cérébraux, mais elle pouvait se trouver également dans les vaisseaux cérébraux. Mais le problème qui se posait était de savoir si elle était suffisamment distribuée dans le tissu cérébral pour envisager une fonction neurotransmettrice. Cette considération, a fait l'objet d'une étude de Vogt qui décida de rechercher la noradrénaline dans le tissu cérébral. En effet, son expérience antérieure de la chimie du tissu cérébral l'avait détourné de l'Acétylcholine puisqu'il avait abouti à montrer que la concentration en « choline acétylase » dans le cerveau était très faible. Il trouva effectivement de la « sympathine » dans le cerveau (Vogt, 1954). L'hypothèse d'une fonction cérébrale propre de la noradrénaline était renforcée par la capacité de certaines drogues à diminuer la concentration en noradrénaline de l'hypothalamus et du cerveau moyen (Vogt, 1975).

- **Sérotonine**

Les neurotransmetteurs périphériques classiques ne pouvaient pas appuyer la neurotransmission centrale, c'est alors que la sérotonine vint renouveler le champ des neurotransmetteurs cérébraux. Grâce à un ensemble de tests biologiques et à la

chromatographie sur papier, Twarog (1954) détecta la sérotonine dans les ganglions des Mollusques, mais avant Twarog et Page (1953) ont découvert la sérotonine dans le cerveau.

- **Dopamine**

Carlsson avait l'intérêt pour la dopamine, précurseur immédiat de la noradrénaline et de l'adrénaline, connue comme étant faiblement sympathomimétique et pour lesquelles il pourra développer une méthode spectrofluorimétrique spécifique (Carlsson & Waldeck, 1958). Cet auteur montrera que la dopamine s'accumula dans le cerveau des animaux. Alors, la dopamine a été présente dans le cerveau où ses taux semblèrent comparables à ceux de la noradrénaline (Carlsson et al., 1958).

III. Nouvelle ère scientifique: Rationalisme complet et apparition de nouvelles disciplines

III.1. Premières perspectives thérapeutiques et médicales

Dans les années 1950, le domaine de la psychiatrie va connaitre une révolution due à l'apparition de la Chlorpromazine préconisé dans le traitement du choc opératoire et qui va constituer le premier neuroleptique (Laborit, 1973). Les observations de Delay, Deniker et Harl (1952) marquèrent le début de ce que Deniker nomma:Psycopharmacologie, qui va représenter une phase importante marquée par l'apparition d'un ensemble de neuroleptiques préconisées dans les cas de dépression

Les premiers travaux sur les monoamines cérébrales vont rapidement déboucher sur des perspectives pratiques et théoriques qui vont considérablement favoriser l'implantation de la théorie chimique au niveau central. Concernant le mode d'action des psychotropes se précisa surtout après les travaux d'Axelrod (1959) sur la recapture de la noradrénaline qui pouvait être inhibée par de nombreuses drogues (Axelrod & Tomchick, 1959). En dépit des réserves de certaines écoles de pensée psychiatriques, l'emploi de la psychochimie se généralisera après les années soixante, mais cela n'empêchaient pas les chercheurs d'aller beaucoup plus loin, vers la physiopathologie.

La découverte de nouveaux transmetteurs de l'hétérogénéité des récepteurs et des intrications entre neurotransmetteurs et sécrétions hormonales obligeront en effet à des considérations plus prudentes sur le support biochimique des troubles mentaux. A cet égard, Carlsson va donc proposer pour la dopamine un rôle de contrôle des fonctions motrices extrapyramidales,

dont le déficit cause la fameuse maladie de Parkinson et l'excès la Chorée (Carlsson, 1959). Les premières implications physiopathologiques de la théorie et ses premiers succès thérapeutiques furent surtout manifestes dans le domaine neurologique (Klinger, 1982; Sourkes, 1977; Sourkes & Gautier, 1983). En effet, il y aura une implication physiopathologique des neurotransmetteurs dans d'autres maladies neurologiques comme l'épilepsie.

III.2. Débuts de la cartographie cérébrale

Sans doute plus que la pharmacologie ou l'électrophysiologie, c'est l'histochimie qui imposera finalement la transmission par les amines cérébrales. Falck, Hillarp, Thieme et Torp (1962) décrivent une méthode d'histofluorescence suffisamment sensible et spécifique pour être appliquée au système nerveux central. L'histochimie de fluorescence va alors connaitre un développement considérable. En effet, dans la même année, Carlsson, Falck et Hillarp (1962) vont confirmer la localisation intraneuronale des monoamines et la localisation spécifique de la sérotonine.

La concentration importante de la noradrénaline dans les fibres nerveuses descendant la moelle va aboutir à la représentation de la première synapse noradrénergique centrale (Carlsson, Falck, Fuxe & Hillarp, 1964). Les travaux systématiques de localisation des amines dans les neurones et de cartographie des voies monoaminergiques seront réalisés en particulier par l'école suédoise par le groupe des monoamines. Dans un premier temps, la voie dopaminergique deviendra un modèle privilégié pour l'étude de la neurotransmission centrale, les neurones dopaminergiques se révéleront parmi les neurones monoaminergiques, quantitativement les plus importants. Ainsi, que d'autres voies seront dessinées telles que : voies noradrénergiques, sérotoninergiques et adrénergiques.

III.3. Elargissement du champ: Acides aminés et peptides

La multiplication des substances candidates à une fonction neurotransmettrice centrale, conduira certains auteurs (Paton, 1958; Curtis, 1961; McLennan, 1963) à élaborer des critères d'identification qui devraient satisfaire les molécules pour être admises comme substances neurotransmettrices, ces critères sont:

- Le neurotransmetteur, ses précurseurs et les enzymes nécessaires à sa biosynthèse doivent être présents dans l'élément pré-synaptique et ceci en quantité suffisante.

- La libération doit s'effectuer en réponse à une activation de l'élément pré-synaptique et en quantité suffisante pour produire une réponse synaptique. Ce critère physiologique est difficile à établir « in vivo » surtout au niveau central.
- Le biochimiste doit montrer que les enzymes sont présentes au niveau de la fente synaptique.
- L'application de la substance au niveau de l'élément post-synaptique doit reproduire la réponse post-synaptique obtenue par stimulation du neurone pré-synaptique. Ce critère est considéré comme une preuve essentielle.
- Les drogues connues pour influencer l'action du neurotransmetteur par voie générale, doivent avoir les mêmes effets sur la réponse induite par l'application du neurotransmetteur putatif au niveau de la synapse.
- La présence de récepteurs spécifiques du neurotransmetteur dans la membrane post-synaptique.

Ces critères sont simplement extrêmement restrictifs, ils ont considérablement stimulé la recherche et servi la théorie des médiateurs. Aussi, ils ont eu le mérite de donner une définition rigoureuse au concept en même temps que d'exiger des preuves expérimentales. C'est aussi l'amorce d'une certaine évolution vers un traitement plus globale de la neurotransmission (Dupont, 1999).

La neurobiologie tendra à devenir multidisciplinaire, les disciplines et leurs spécialistes se rencontrant sur des critères d'identification des nouveaux neurotransmetteurs, surtout à partir de l'ère des peptides des années soixante-dix.

L'histoire des peptides commença par la détection accidentelle de la substance P par Euler et Gaddum (1931), suivie par la démonstration de sa nature peptidique (Euler Von, 1936). Sa fonction neurotransmettrice fut proposée parLembeck (1953). Au même moment, Pernow (1953) étudie systématiquement les actions biologiques de la substance et sa distribution tissulaire. Les années qui suivirent vont être consacrées à l'étude de la localisation dans le système nerveux central.

Chang et Leeman (1970) déterminèrent la séquence de 11 acides aminés constituant la molécule. Le développement des méthodes de dosages spécifiques, de l'immunohistochimie et des études électrophysiologiques firent de la substance P un des premiers peptides candidats sérieux à la neurotransmission centrale. L'histoire de cette substance P rejoint celle de peptides endomorphines qui fut le point de départ d'une ère nouvelle pour la

neurotransmission; cette ère de peptides va modifier, rectifier le concept de la neurotransmission.

A la fin des années soixante-dix, plus de vingt peptides deviendront neurotransmetteurs putatifs et leur nombre s'accroit considérablement. En effet, le triomphe des conceptions neurohumorales est définitif, ce qui va faire naitre un ensemble de domaines tels que la neuropharmacologie moléculaire et la psychologie. Aussi, les peptides vont ouvrir la perspective de la construction d'une génétique moléculaire de la neurotransmission (Clarac & Ternaux, 2008).

III.4. Naissance de la neurocybernétique

Comprendre les mécanismes cérébraux est un objectif majeur de plusieurs chercheurs visant l'explication du fonctionnement de cerveau en utilisant les outils conceptuels des uns et des autres, ce qui a donné naissance à une nouvelle science nommée « la cybernétique », qui désigne d'abord les moyens de connaissances et étudie l'information au sens de la physique. Cette nouvelle discipline a permis des développements dans divers domaines comme l'intelligence artificielle, la création du Web, les sciences sociales humaines, la psychologie, la psychanalyse et les neurosciences.

III.5. De l'activité électrique des assemblées de neurones à la création des neurosciences

Après l'élucidation des mécanismes synaptiques et l'émergence de nouvelles méthodologies dans le champ de recherche concernant le cerveau, on va assister dans les années soixante à l'apparition d'un nouveau concept, celui des « neurosciences » qui rassemblent les disciplines scientifiques aussi éloignées telles la médecine, la physiologie, l'anatomie dont la recherche a pour objet la connaissance du système nerveux et de son fonctionnement (Clarac & Ternaux, 2008). La découverte d'oscillations électriques propres au cerveau de l'homme est un événement majeur dans la conduction du fonctionnement nerveux.

III.6. Avancées contemporaines

Plus récemment, l'avènement d'instruments de mesures plus précis a permis de pousser encore plus loin la compréhension du fonctionnement des synapses. L'une des plus grandes percées est une technique de haute résolution d'enregistrement des courants ioniques

traversant la membrane plasmique. Il était alors possible d'enregistrer la réaction d'un seul et unique canal ionique à l'aide d'une micro-pipette (patch-clamp) (Hamill et al., 1981).

Cette percée permit de prendre des mesures précises sur la cinétique des différents canaux ioniques (Neher, 1992; Sakmann, 1992). A l'aide de ces mesures, des modèle précis de transition d'état des différents canaux ioniques dont les récepteurs ont pu être établis (Destexhe et al., 1994). Ils expliquent comment la probabilité d'ouverture des canaux varie dans le temps en fonction des concentrations de neurotransmetteurs ou par propagation d'une onde de tension.

III.7. Modélisation et simulation du fonctionnement cérébral à l'approche des neurosciences cognitives

Les connaissances accumulées sur le cerveau étaient suffisante au milieu du XX^{e} siècle pour décrire de façon complète le fonctionnement du système nerveux et pour comprendre l'ensemble des mécanismes impliqués dans les pathologies cérébrales. En effet, la complexité du système nerveux émergeait à tous les niveaux d'investigations: moléculaire, cellulaire, cerveau entier et la mise en œuvre de mécanismes qui impliquent un ensemble de paramètres contrôlés par une méthode de facteurs dont certains sont inconnus jusqu'à nos jours.

Les sciences cognitives est un champ qui représente une synthèse d'un grand nombre de disciplines visant la compréhension du fonctionnement de l'esprit humain. Elles s'intéressent aux bases neurologiques des fonctions supérieures telles le langage, la mémoire, l'apprentissage, le raisonnement, etc. Ces champs d'intérêt sont partagés par les sciences de l'éducation (Doudin & Tardif, 2016). A l'heure actuelle, les neurosciences prises de façon isolées apportent peu aux sciences d'éducation. Cependant, un ensemble de chercheurs insistent sur l'intersection entre ces deux disciplines (Ansari & Coch, 2006; Fischer, Goswami & Geake, 2010; Tardif & Doudin, 2011). Par contre si les neurosciences et sciences d'éducation sont prises dans un contexte plus large, la collaboration entre ces deux disciplines permettra une meilleure connaissance des liens qui unissent la pédagogie et le cerveau.

Conclusion

Le concept de la neurotransmission est à la fois fondateur et représente un moment capital de l'histoire de la biologie. En effet, il y avait l'opposition de deux théories de la neurotransmission à savoir la théorie électrique et la théorie chimique. En fait, la théorie électrique n'a pas résisté aux tests expérimentaux, à la différence de sa rivale chimique, d'où

son rejet par la communauté scientifique. Par ailleurs, la théorie chimique offrait des opportunités de développement dû à la naissance du concept de neurotransmetteur qui par sa validation a donné naissance au concept de la neurotransmission. Les théories électriques et chimiques (neurohumorales) se sont longtemps développées en dépit de modifications apparentes dont aucune ne s'est révélée définitivement décisive.

La théorie chimique en particulier n'a pas immédiatement résisté aux tests expérimentaux. D'ailleurs, les dispositifs expérimentaux, eux-mêmes, selon l'expression de Bachelard (1933), pouvaient être responsables de l'échec des prédictions suggérées par l'une ou l'autre hypothèse. Cependant, la décision de garder ou de rejeter la théorie électrique par tel ou tel chercheur n'apparait pas seulement relever de critères abstraits parfaitement définis et même elle apparait parfois comme non nécessaire. Il est donc important de sortir des considérations strictement méthodologiques pour comprendre les causes profondes des résistances à une théorie. Dans le cas de la neurotransmission, le modèle discontinu et le paradigme chimique s'imposa bien progressivement à la communauté scientifique et donna naissance à son tour à une tradition de « science normale » en se substituant au paradigme électrique. Pourtant, les deux théories se côtoient d'emblée dès le début du XX ^{e} siècle et ceci durant une soixantaine d'années.

Les deux théories de la neurotransmission avaient une base empirique assez hétérogène et correspondent à des domaines d'investigations variés qui sont : morphologiques, biochimiques, électrophysiologiques et pharmacologiques. La théorie chimique, en particulier dans sa phase initiale, ne s'est jamais présentée comme un ensemble de lois logiquement articulées pour être adapté, mais plutôt comme un ensemble de complexe susceptible d'intégrer une pluralité de phénomènes dans un modèle électrique général et elle s'achève avec la construction de la synapse ; aussi, la théorie chimique offrait ainsi des opportunités de développement bien supérieures à celles de la théorie électrique qui s'est mise progressivement en minorité sociologique. En effet, cetteanalyse est intéressante mais exige néanmoins quelques précisions importantes. La difficulté qui s'impose à la théorie c'est le fait de concilier avec le rôle heuristique propre des grandes mutations technologiques, intervenant aussi comme un facteur externe de la découverte.

La genèse du concept de la neurotransmission dépend de l'état des techniques de production électroniques et chimiques de l'époque par le biais de la révolution technologique ou de la synthèse de nouvelles molécules médicamenteuses, productions qui mobilise des moyens

intellectuels et matériels indépendants de ceux liés directement à la recherche dans le domaine de la neurotransmission. Le développement effectif des opportunités objectives de la théorie neurohumorale ne devint possible qu'après l'essor de l'électronique et de la chimie, qui ont mis à la disposition des scientifiques toute une palette de technologies, apparues dans des circonstances historiques indépendantes de la théorie elle-même.

Dans le cas du neurotransmetteur, les retombées pharmacologiques du concept et son implication par l'utilisation de médicaments neurotropes ou psychotropes, favorise son passage dans la mentalité scientifique collective comme une certitude et commence à être enseigné. De fait, après les années cinquante, on peut encore trouver des manuels de physiologie qui présentent la neurotransmission chimique comme une simple hypothèse qui possède son histoire propre. Cette théorie de neurotransmission apparait d'abord comme le résultat d'une investigation expérimentale difficile et serrée, déterminée par des conditions intellectuelles et matérielles précises et ayant eu des réelles implications théoriques et pratiques, ce n'est que dans cette mesure qu'elle représente, sinon une révolution scientifique, du moins un véritable changement des mentalités. Dans les années cinquante, les deux théories deviendront comparables et les disciplines vont pouvoir se rencontrer mais se séparaient à nouveau dans le courant des années soixante surtout sur le modèle du cerveau et de ses mécanismes.

Il fallait attendre la décennie suivante et l'entrée en scène de la biologie moléculaire pour que seule la théorie chimique soit capable de se développer et se féconder. Tout ceci va conduire les partisans de la théorie électrique à renoncer à leur théorie en faveur de la théorie chimique, particulièrement la théorie de médiateurs qui a inauguré l'ère de la communication biologique.

L'histoire de la neurotransmission est un domaine d'exploration fascinant qui par le biais de rechercher ses origines, elle permet de s'élargir dans plusieurs directions allant du plan moléculaire vers une histoire de communication biologique, qui soit témoin de la naissance d'un champ des neurosciences qui s'annonce passionnant en même temps que difficile. Ce domaine particulier des neurosciences, au-delà des bases moléculaires de la transmission synaptique, s'imposerait une histoire des circuits neuronaux, sur le plan comportemental ou cognitif, il s'agirait de comprendre comment la démarche analytique du biologiste peut être replacée dans un contexte psychophysiologique, ce domaine est très vaste et impliquerait un examen des rapports entre neurosciences et sciences cognitives.

Cette étude nous conduit à poser la question suivante : quelle est l'influence du développement du concept de la neurotransmission au cours du temps sur le savoir à enseigner et le savoir enseigné ? C'est ce qui fera l'objet du chapitre suivant.

Chapitre V : Savoir à enseigner et Savoir enseigné de la Neurotransmission

Introduction

Dans l'enseignement supérieur, les instances officielles n'éditent pas de manuels spécifiques comme ceux existants dans l'enseignement secondaire. Elles tracent seulement les grandes lignes des programmes. En effet, les textes se limitent à des brefs intitulés et parfois à des descriptifs insérés dans les cahiers de charge régissant les programmes. Dans ce contexte, l'enseignant universitaire dispose d'une marge de liberté pour élaborer son cours. De part la formation de l'enseignant, les sources bibliographiques de ce dernier pour élaborer ses cours sont en général des ouvrages de références correspondant aux concepts à enseigner.

La neurophysiologie est une partie de module de la physiologie animale qui est un module majeur du parcours des Sciences de la Vie dispensé en deuxième année (semestre 4) dans tous les établissements universitaires marocains.

Afin de cerner ce savoir à enseigner et avoir un aperçu sur la transposition didactique de la neurotransmission et son évolution dans le temps, nous avons analysé le contenu d'enseignement en question en étudiant:

- dans un premier tempsun ensemble d'ouvrages destinés aux étudiants du premier cycle universitaire et des classes préparatoires scientifiques.
- Dans une seconde étape, nous nous sommes intéressés au texte du savoir neurotransmission dispensé au niveau de la deuxième année du premier cycle universitaire pour la filière Sciences de la Vie (SVI). Pour ce, le regard a été porté surles polycopiés du cours rédigés par les enseignants responsables de la matière. Ces polycopiés destinés aux étudiants au cours des années universitaires 2015-2016 et 2016-2017ont été analysés, l'objectif était de mettre en évidence les concepts impliqués et les démarches didactiques adoptées.

I. Méthodologiede l'analyse des ouvrages de référence

Par l'examen des huit ouvrages collectésde la bibliothèque du département de la biologie au sein de la Faculté des Sciences de Dhar El Mahraz, nous visons la délimitation du contenu de la neurotransmission, l'appréhension de la transposition didactique appropriée à ce contenu d'enseignement. Lors de cette analyse, un soin particulier a été donné au dépouillement du contenu, des objectifs des séquences d'enseignement et des démarches d'introduction des concepts traités. Nous avons ainsi essayé de mettre en évidence les cheminements

susceptibles d'être entrepris pour aborder la neurotransmission et élucider les réseaux conceptuels impliqués, en explorant l'entrée en matière et le défilement des connaissances adopté par les différents auteurs.

Comme tout contenu d'enseignement, la neurophysiologie présente une entrée en matière, un corps de discours et une fin. Pour suivre l'enchainement des connaissances, nous avons découpé ce contenu en étapes, terme utilisé pour mettre l'accent sur la démarche inductiviste des cours académiques (Kaddari, 2005). Elle s'agit d'une méthode scientifique permettant d'obtenir des conclusions générales à partir de prémisses individuelles. Pour faire cela, on s'est basé sur le cours rédigé par l'enseignant responsable de cet élément de module à la Faculté des Sciences Dhar El Mahraz. Dans cette étude, on va se baser sur le premier chapitre du cours, qui traite la physiologie de la cellule nerveuse. La succession des étapes sera montrée dans le tableau 1.

Tableau 1 : Identification des étapes composant le premier chapitre du cours de la neurophysiologie

Etapes	Titre de chaque étape
Etape 0	Organisation du tissu nerveux, formation du tissu pendant l'embryogenèse
Etape 1	Anatomie du neurone et cellules gliales
Etape 2	La neurophysiologie : propriétés électriques et chimiques du neurone : naissance, propagation de l'information nerveuse et transmission synaptique.

Les étapes 0 et 1 sont toujours en introduction du cours de la neurophysiologie représentant ainsi l'énonciation du problème (Joshua & Dupin, 1993), elles constituent les entrées en matière.

Comme il a été mentionné ci-dessus, les ouvrages analysés sont des livres destinés aux étudiants du premier cycle universitaire, médicales et des classes préparatoires scientifiques. On les a choisis de manière à ce que les années d'édition couvrent une longue période. Ainsi, l'ouvrage A est le plus ancien (1963) et l'ouvrage H est le plus récent (2009). L'ensemble des ouvrages consultés sont rassemblés dans le tableau 2 selon l'ordre chronologique d'édition.

Tableau 2 : Ouvrages de références analysés

Ouvrages analysés	Titre	Auteurs	Edition	Année
A	La Physiologie. Système nerveux. Muscle	Ch. Kayser	Médicales Flammarion, Paris	1963
B	Biologie et Physiologie des éléments nerveux (Tome 1)	P. Laget	Masson, Paris	1981 (3ème édition)
C	Relations Synaptiques et non Synaptiques entre les éléments nerveux (Tome 2)	P. Laget	Masson, Paris	1977 (2ème édition)
D	Neurobiologie cellulaire. Canaux ioniques et transmission synaptique	C. Hammoud& D. Tritsch	Doin Editeurs, Paris	1990
E	Biologie humaine. Anatomie-Physiologie – Santé	E. Périlleux, D. Richard, B. Anselme, J-M. Demont& P. Valet	Nathan/ HER, Paris	1999
F	Neurophysiologie. Organisation et fonctionnement du système nerveux	D. Richard & D. Orsal	Dunod, Paris	2001(2ème édition)
G	Biologie et Physiologie Animales	A. Beaumont, P. Cassier, J-P. Truchot& M. Dauça	Dunod, Paris	2006 (2ème édition)
H	Physiologie humaine	H. Guénard	Editions Pradel	2009

II. Analyse des ouvrages de référence

II.1. Réseaux conceptuels impliqués dans les entrées en matière

L'analyse en profondeur de différents ouvrages, nous a permis de repérer deux entrées en matière du contenu de la neurophysiologie: La première entrée concernant les notions fondamentales sur le système nerveux et l'anatomie du neurone et la deuxième entrée portant sur la naissance, propagation et transmission de l'information. A la lumière de cela, on pouvait classifier les ouvrages selon les entrées qu'ils adoptent.

a. Entrée 1: Notions fondamentales sur le système nerveux et l'anatomie du neurone

Les ouvrages qui adoptent cette entrée en matière sont: A; B; D; E; Fet H.

Les ouvrages ont été divisé en deux classes: une première classe (E; F et H) dont les auteurs ont introduit en premier lieu des notions liées au système nerveux (Tableau 3) et une deuxième classe (A; B et D) où les auteurs ont commencé par donner des notions liées au neurone (Tableau 4). Nous explicitons ci-dessous les sous-titres des chapitres traitants ce

thème dans ces six ouvrages sans modifier la numérotation originale telle qu'elle a été énoncée dans les sommaires des ouvrages analysés.

- **Analyse des ouvrages de la première classe (E, F et H)**

D'après le tableau 3, les ouvrages de la première classe (E; F et H) présentent une similitude dans leur exposé préalable à l'organisation et fonctionnement du système nerveux. Ils commencent par donner un aperçu sur le système nerveux et ses composantes, ensuite ils abordent l'anatomie du neurone qui est un concept clé dans la neurophysiologie. Ces ouvrages sont plus ou moins récents, le plus ancien (E) a été édité en 1999, ils suivent une démarche pédagogique pour décrire les mécanismes de la naissance, la propagation et la transmission de l'influx, en se basant sur les deux modèles de cette transmission: modèle électrique (Potentiel d'Action) et le modèle chimique par le biais des substances chimiques qui sont les neurotransmetteurs.

La lecture approfondie de ces trois ouvrages, a montré que les auteurs ont choisi d'aborder le concept de la Neurotransmission d'une façon simple pour éliminer le caractère ardu de ce concept. Ils ont utilisé, en plus, un discours enrichi par les représentations iconiques afin de faciliter la compréhension et la mémorisation des événements liés à ce concept à savoir la Neurotransmission. Les trois ouvrages se basent sur l'expérimentation sans pour autant omettre de donner quelques rappels sur la vie historique du concept.

Tableau 3: Première classe des ouvrages de référence adoptant l'entrée 1: Notions fondamentales sur le système nerveux

Ouvrage	Etape	Sommaire de l'ouvrage
Ouvrage E	Etape 0	Chapitre 3 : Organisation et fonctionnement du système nerveux 1)- Le système nerveux : des nerfs et des centres. 2)- L'organisation générale du système nerveux.
	Etape 1	3)- Neurone et codage de l'information.
Ouvrage F	Etape 0	Chapitre 1 : La construction du système nerveux 1)- Les grandes étapes de la neurogenèse. 2)- Les principales structures du système nerveux central. 2.1)- La moelle épinière. 2.2)- Myélencéphale. 2.3)- Métencéphale. 2.4)- Mésencéphale. 2.5)- Diencéphale. 2.6)- Télencéphale. 3)- Les mécanismes de la neurogenèse. 3.1)- L'induction nerveuse. 3.2)- Les divisions cellulaires. 3.5)- Les différenciations cellulaires. Les sous titres : 3.3) ; 3.4) ; 3.6) ne sont pas inclus. 3.7)- Synaptogenèse.
	Etape 1	4)- Propriétés anatomiques et fonctionnelles des neurones et des cellules gliales. 4.1)- Anatomie du neurone. 4.2)- Les cellules gliales participent à la physiologie des neurones. 5)- Le neurone. 5.1)- La membrane du neurone.
Ouvrage H	Etape 0	Chapitre 10 : Neurophysiologie I)- Structure et Physiologie des éléments nerveux. A. Anatomie fonctionnelle du système nerveux. B. Principes de fonctionnement du système nerveux.
	Etape 1	C. Structure du neurone.

- **Analyse des ouvrages de la deuxième classe (A, B et D)**

Pour les ouvrages de la deuxième classe rassemblés dans le tableau 4, l'analyse nous a montré que l'ouvrage A qui est le plus ancien des ouvrages de la collection analysée, est purement historique car il a traité le concept de neurone, de la transmission de l'information et de la transmission synaptique selon une démarche historique en détaillant l'origine de chaque concept. L'analyse de cet ouvrage pionnier en neurophysiologie, nous a montré que l'auteur a adopté une démarche plutôt théorique, en exposant d'une manière profonde toutes les théories

se rapportant à la neurophysiologie. Aussi, le discours utilisé est trop compliqué et n'est pas susceptible d'être consulté par les étudiants.

Dans le récit de l'ouvrage B, on ne voit pas une hiérarchie claire pour chaque concept, c'est un ouvrage trop spécialisé qu'un lecteur débutant en neurophysiologie ne peut pas décortiquer ses parties et même il ne peut pas comprendre facilement les étapes de la transmission synaptique. En plus, de la lecture approfondie, il nous semble que l'auteur a privilégié la théorie électrique car il a traité le concept en détaillant que la théorie électrique de la transmission de l'influx nerveux sans introduire la théorie chimique pour traiter le concept de la transmission synaptique.

Cependant pour l'ouvrage D, l'auteur a décrit toute l'anatomie du neurone ainsi que les cellules gliales. En effet, il a donné beaucoup de détails et d'explication pour éclaircir le concept du neurone qui concrétise une entrée primordiale lorsqu'on veut traiter le concept de la neurotransmission. L'analyse de cet ouvrage, nous a montré que les définitions des concepts et notions sont courtes et réduites. Aussi, le corps de discours est enrichi par des illustrations et des schémas explicatifs pour rapprocher le concept de l'univers des étudiants. Dans cet ouvrage, on ne trouve pas un titre précis pour la transmission synaptique, par contre, l'auteur a accordé pour cette partie le titre « schéma général du fonctionnement d'un complexe synaptique ».

En résumé, il ressort que les ouvrages les plus anciens (A et B) se basent sur le discours théorique et adoptent une démarche historique pour traiter les concepts, tandis que les auteurs des ouvrages les plus récents (D; E; F et H) focalisent leur attention sur l'expérience et essayent de rendre plus visible le lien entre la science et son application en dehors des amphithéâtres.

Tableau 4 : Deuxième classe des ouvrages de référence adoptant l'entrée 1 : anatomie du neurone

Ouvrage	Etape	Sommaire de l'ouvrage
Ouvrage A	Etape 1	Chapitre Premier. – Le neurone Introduction. Histoire de la genèse des concepts fondamentaux.
Ouvrage B	Etape 1	Chapitre I : La cellule nerveuse et ses prolongements. La névroglie. I)- La cellule nerveuse et la théorie du neurone. A. Structure du neurone. B. Différents types de neurones. II)- Eléments interstitiels du tissu nerveux. La névroglie. Chapitre II : Histogenèse des éléments nerveux. Dégénérescence et régénération. I)- Histogenèse des éléments nerveux. A. Formation du neurone. B. Croissance de l'axone. II)- Dégénérescence et régénération.
Ouvrage D	Etape 1	Chapitre 1 Les neurones 1.1)- Les neurones ont un corps cellulaire d'ou partent deux types de prolongements : les dendrites et l'axone. 1-1-1 L'arbresomato- dendritique 1-1-2 L'axone et les collatérales axonales 1.2)-Les caractéristiques ultra-structurales des différentes régions du neurone. 1-2-1 Les éléments du cytosquelette 1-2-2 Le soma 1-2-3 Les dendrites 1-2-4 L'axone 1.3)- Les transports axonaux permettent une communication a double sens entre corps cellulaire et terminaisons axonales. 1-3-1 Mise en évidence des transports axonaux. 1-3-2 Le transport axonal antérograde rapide. 1-3-3 Le transport axonal antérograde lent. 1-3-4 Le transport axonal de mitochondries. 1-3-5 Le transport axonal rétrograde. 1.4)-En résumé le neurone est une cellule excitable et sécrétrice. Chapitre 3 : Les cellules gliales 3.1)- Les astrocytes. 3.2)- Les ologodendrocytes. 3.3)- La microglie. 3.4)- Les cellules épendymaires. 3.5)- Les cellules de Schwann.

b. Entrée 2 : Naissance, propagation et transmission de l'information

Les deux ouvrages qui adoptent cette entrée sontles ouvrages C et G.

- **Ouvrage C**

L'auteur de l'ouvrage C a introduit directement le concept de la transmission synaptique en détaillant l'exemple fondamental de cette transmission qui est «la jonction neuromusculaire ».

Dans cet ouvrage relativement ancien (1977), l'auteur met la lumière sur la progression ressentie dans le domaine de la neurophysiologie avec l'apparition des nouvelles techniques (microscopie électronique ou à fluorescence, histochimie, micro-électrophysiologie) qui permettaient de préciser la notion de la synapse et aussi de visualiser sa structure. En effet, l'analyse de cet ouvrage, nous a montré que lors de la description des événements liés à la transmission synaptique, l'auteur est influencé par les travaux historiques qui traitent le concept de la transmission synaptique selon le modèle chimique faisant intervenir des substances chimiques appelées neurotransmetteurs dans la transmission de l'information. Dans ce contexte, l'auteur a consacré la grande partie à la synapse chimique sans oublier d'évoquer la synapse électrique. Aussi, cet ouvrage rejoint les autres ouvrages anciens de la collection (A et B) dans le type du discours théorique et la démarche adoptée qui est purement historique.

- **Ouvrage G**

Dans l'ouvrage G, l'auteur s'est émergé directement dans le concept de la transmission synaptique mais sans oublier de donner un bref rappel sur le neurone et son anatomie.

Les concepts et les notions sont définis dans des paragraphes réduits avec un récit clair, simple et facile à assimiler par le lecteur. Dans cet ouvrage, l'auteur a adopté une démarche pédagogique bien appropriée pour éliminer le caractère ardu de la discipline de la Neurophysiologie et il a enrichi le corpus par des illustrations, des commentaires et des schémas suceptible de faciliter la mémorisation des notions par les étudiants.

En résumé, la lecture approfondie de tous les ouvrages met en évidence une évolution dans les contenus d'enseignement. Les ouvrages anciens (A; B et C) se basent sur le discours théorique et historique, tandis que les ouvrages récents (D; E; F; G et H) insistent sur l'expérimentation pour rapprocher le concept aux étudiants. En effet, les auteurs de ces ouvrages ont choisi un récit simple et clair, aussi ils ont adopté des démarches pédagogiques

appropriées au niveau cognitif des étudiants et ils ont eu recours aux schémas explicatifs pour décrire les événements liés à la transmission synaptique.

Cette analyse nous a permis d'émettre la constatation suivante: les démarches d'introduction et de présentation de ce contenu montrent des divergences perceptibles selon si la première édition de l'ouvrage est parue avant ou après 1990, mettant en évidence une évolution dans le temps de la transposition didactique de la séquence de la neurotransmission ou transmission synaptique. En effet, il existait une différence de contenus entre les anciens ouvrages de référence (édités avant 1990) et les ouvrages récents (édités après 1990). Cette différence marque une évolution de la transposition didactique dans le temps. Cela est traduit par les adaptations et les changements du contenu de la neurotransmission pour passer d'un savoir savant dans les ouvrages anciens à un savoir à enseigner dans les ouvrages récents et aussi il est recontextualisé dans transposition didactique appropriée à son enseignement à l'université.

Il ressort de cette analyse qu'il y a une nouvelle réorganisation du contenu de la neurotransmission avec l'apparition d'une nouvelle démarche dans la présentation de ce contenu. Cette réorganisation est située vers les années 90 où le savoir savant de la neurotransmission reconnu par la communauté scientifique était beaucoup plus une propriété des chercheurs. En effet, le concept de la neurotransmission est devenu plus hiérarchisé, plus structuré de façon à ce que le contenu devient clair, défini et bien précis.

II.2. Diagnostic des notions et concepts introduits dans les différentes étapes

Dans cette partie, nous allons essayer de cerner les notions et les concepts de chaque étape afin de donner des éclaircissements sur les différentes séquences d'enseignement du contenu de la neurotransmission et ceci dans le but de s'inscrire dans une transposition didactique appropriée. Pour réaliser cela, nous avons regroupé les différentes notions et concepts traités et détaillés dans chaque étape dans des tableaux.

II.2.1. Notions de l'étape 0 dans les différents ouvrages

Dans cette analyse, on va se limiter aux paragraphes qui exposent des notions et concepts liés à l'organisation et l'anatomie du système nerveux. Ces notions seront désignées par le terme « connaissances préalables » et seront regroupées dans le tableau 5.

L'analyse historique et épistémologique que nous avons effectuée dans le chapitre précédent, nous a montré que le système nerveux est l'un des principaux systèmes de communications

entre les cellules. Aussi, au long de cette histoire nous avons remarqué une évolution dans les connaissances concernant les différentes composantes du système nerveux avecl'émergence des techniques de cartographies cérébrales qui ont permis la délimitation des différenteszones du cerveau ainsi que leurs fonctions.

Le système nerveux est évoqué dans l'étape 0 des ouvrages (E; F et H). A noter que ces ouvrages sont les plus récents de la collection analysée. Dans les deux ouvrages (E et H), les auteurs n'ont pas trop détaillé l'anatomie du système nerveux, ils ont essayé de présenter les notions de base du système nerveux telles que l'encéphale et moelle épinière qui constituent le Système Nerveux Central (SNC) et les Nerfs qui constituent les prolongements qui forment le Système Nerveux Périphériques (SNP).

De l'analyse du tableau 5, nous avons remarqué que les deux ouvrages (E et F) contiennent des représentations iconiques (schémas) ce qui confirme que ces auteurs adoptent une démarche pédagogique facilitant la mémorisation des notions par les étudiants. Pour les ouvrages (F et H), on a constaté que les notions liées au système nerveux ont été détaillé soit sous forme de paragraphes, soit des définitions.

Ces trois ouvrages récents (E, F et H) ont tendance à se focaliser sur l'expérimentation pour rendre visible l'importance des concepts liés au système nerveux et pour les mettre dans un contexte qui révèle les interactions qui existent entre le savoir à enseigner dans les classes et l'environnement externe et social de l'étudiant.

Tableau 5 : Notions et concepts clés dans l'étape 0

Connaissances préalables	**E**	**F**	**H**
Système nerveux : - Système nerveux central - Système nerveux périphérique	+	++	+
Système nerveux central : Encéphale et Moelle épinière	-	++	+
Encéphale : Myélencéphale, métencéphale, mésencéphale, diencéphale et télencéphale.		++	++
Système nerveux périphérique : Nerfs (fibres sensitives et fibres nerveuses)	-	++	+
Boite crânienne, cortex cérébral, tissu conjonctif, substance grise, substance blanche, hémisphères cérébraux et ganglion rachidien.	-	-	-
Le névraxe		+	+
Système nerveux végétatif : - Système parasympathique - Système orthosympathique	+	++	+
Neurones, cellules gliales	-	+	+
Trois feuillets : endoderme, mésoderme et ectoderme.		++	
Nombre des représentations iconiques	5	12	0

++ Constitue un paragraphe bien détaillé
+ Définition courte
- Cité sans être détaillé

II.2.2. Notions de l'étape 1 dans les différents ouvrages

Dans cette étape, on va cerner les notions en relation avec l'anatomie du neurone et des cellules gliales. Ces notions vont être rassemblées dans le tableau 6. L'étape 1 est évoquée dans les ouvrages (A, B, D, E, F et H). A l'exception de tous les ouvrages, dans l'ouvrage A pour traiter le concept du neurone, l'auteur s'est basé sur une démarche historique qui décrit l'origine de ce concept et aussi son évolution dans le temps jusqu'à l'émergence du concept de la transmission synaptique. Mais à noter que les notions traitées ne sont pas maturées et purifiées car c'est un ouvrage ancien (1963). L'auteur a utilisé un discours purement théorique et qui est resté fidèle à l'épistémologie. A noter qu'on s'est basé sur cet ouvrage dans le chapitre précédent concernant l'épistémologie et l'histoire du concept de la Neurotransmission.

Pour l'ouvrage B qui a été édité pour la 3ème fois en 1981 et qui fait partie également de la série des ouvrages anciens de la collection analysée, l'auteur a traité le concept du neurone selon une approche historique pour mettre en évidence son importance dans la naissance du concept de la transmission de l'information (signal nerveux). Aussi, on a remarqué que l'auteur a trop détaillé le concept du neurone depuis la définition jusqu'à son anatomie et ce qui n'était pas le cas dans les autres ouvrages.

L'ouvrage D est édité en 1990, l'auteur s'est focalisé sur tout ce qui est cellulaire. C'est un ouvrage spécialisé en neurobiologie cellulaire. Son analyse nous a montré que l'auteur a bien détaillé le concept du neurone avec ses composantes (corps cellulaire, dendrites et axone). En effet, dans son discours, l'auteur a déterminé les fonctionnalités du neurone comme étant une cellule excitatrice et sécrétrice avec une tendance de converger vers la deuxième entrée portant sur la naissance, propagation et transmission de l'information.

L'ouvrage E édité en 1999, utilise un discours simple et facile basé sur l'expérimentation ainsi que les notions du neurone sont présentées selon des définitions courtes afin de faciliter leur mémorisation par les étudiants.

Les deux derniers ouvrages (F et H) sont les ouvrages les plus récents de la collection analysée, basés sur des nouvelles démarches pédagogiques mettant le concept du neurone dans un emplacement qui confirme son importance dans la neurophysiologie. Aussi, les auteurs de ces deux ouvrages ont eu recours à l'utilisation des schémas explicatifs de l'anatomie du neurone.

Tableau 6 : Notions et concepts dans l'étape 1

Notions et concepts liés au neurone	**A**	**B**	**D**	**E**	**F**	**H**
Neurone	++	++	++	+	++	+
Cellule nerveuse	+	++				
Corps cellulaire ou soma	+	++	++	+	++	+
Noyau cellulaire	-	++				
Appareil de Golgi	-	++				
Réticulum endoplasmique	-	++				
Mitochondrie	-	++				
Lysosomes	-	++				
Dendrites	+	++	++	+	++	+
Axone	+	+ +	+ +	+	+ +	+
Cellule gliale	-	+ +	+ +		+ +	
Gaine de myéline	-	+ +				
Neurones moteurs et neurones sensitifs	+	-				
Neurone bipolaire, unipolaire et multipolaire	+	++				
Synapse	+	-	-			
Cellule excitable	++	++	++	++	++	++
Cellule sécrétrice	++	++	++		++	++
Nombre de représentations iconiques		8	10		7	4

++ Constitue un paragraphe bien détaillé
+ Définition courte
- Traité sans être détaillé

II.2.3. Notions de l'étape 2 dans les différents ouvrages

Après l'anatomie du neurone, tous les ouvrages de la collection abordent l'étape 2 qui consiste à l'étude de la neurophysiologieà savoir l'étude du fonctionnement du neurone: propriétés électriques et chimiques du neurone: naissance, propagation et transmission synaptique de l'information nerveuse. Cette étape sera divisée en deux parties :

- La première partie portant sur la naissance de l'information nerveuse connue sous terme de Potentiel d'Action et renvoie à la propagation de l'information de nature électrique. Les notions seront rassemblées dans le tableau 7.
- La deuxième partie concernant l'étude des mécanismes successifs de la neurotransmission qui fait intervenir des zones spécialisées (synapses) pour transmettre le message nerveux d'un neurone à l'autre ou d'un neurone à une cellule effectrice par l'intermédiaire des neurotransmetteurs. Les notions seront regroupées dans le tableau 8.

L’analyse des deux tableaux 7 et 8, nous a montré que pour:

- **Ouvrage A**

L’ouvrage A, l’auteur s’est basé sur un discours historique qui retrace l’histoire de la genèse des concepts liés à la neurotransmission ou transmission synaptique. D’une part, le corps du discours de cet ouvrage est compliqué et n’est pas facile pour être assimilé par les étudiants et d’autre part, l’auteur a donné trop de détails historiques qui risque de faire perdre le fil au lecteur. Aussi, l’analyse en profondeur de cet ouvrage ancien, nous a révélé que l’auteur semble être influencé par l’état de doute à l’époque concernant la nature de la neurotransmission puisqu’il a consacré une grande partie de l’ouvrage pour traiter les mécanismes électriques qui sous-tendent l’information nerveuse au détriment du modèle chimique de la neurotransmission.

- **Ouvrage B**

L’analyse en profondeur de l’ouvrage B a montré que l’ensemble des chapitres mettant en avant les phénomènes électriques en tant que manifestations de l’activité fonctionnelle des éléments nerveux. Ce qui prouve que l’auteur de cet ouvrage est influencé par l’approche électrophysiologique de l’information nerveuse. En effet, les concepts sont définis en se basant sur la démarche historique, cet ouvrage rejoint l’ouvrage A dont la nature de la démarche avec laquelle l’auteur a exposé les concepts et les notions liées à la neurotransmission.

- **Ouvrage C**

Dans l’ouvrage C, à l’exception des autres ouvrages analysés, l’auteur a directement abordé l’étape 2 à savoir les propriétés électriques et chimique du neurone: naissance, propagation de l’information nerveuse et transmission synaptique sans introduire les notions liées au système nerveux ou celles liées à l’anatomie du neurone. L’analyse en profondeur de cet ouvrage a montré que l’auteur a détaillé la transmission chimique en se basant sur l’exemple de la transmission neuromusculaireou la jonction neuromusculaire, mais ces explications ne sont pas vraiment faciles pour être assimilées par les étudiants ce qui risque de bloquer leur assimilation des mécanismes intervenants dans la neurotransmission. L’ouvrage se basait sur un discours théorique et hypothétique où les notions ne sont pas encore maturées et purifiées.

- **Ouvrage D**

L'auteur de l'ouvrage D a analysé le fonctionnement des réseaux de neurones à partir de l'étude des neurones individuels et de protéines membranaires: canaux ioniques et récepteurs. Or, l'auteur de cet ouvrage a consacré une partie importante de l'ouvrage (11 chapitres) pour exposer ces canaux ioniques ainsi que les protéines membranaires, aussi, il s'est focalisé sur l'aspect moléculaire pour traiter la transmission de l'information ce qui constitue une particularité par rapport aux autres ouvrages de la collection analysée. Le corps du discours de cet ouvrage, nous a montré l'utilisation des équations mathématiques ainsi que des schémas de dispositifs expérimentaux pour définir les notions liées au potentiel d'action.

- **Ouvrage E**

L'analyse de l'ouvrage E a montré que les deux parties qui composent l'étape 2 sont résumées sous forme de paragraphes contenant des définitions courtes des concepts. L'auteur a utilisé un discours simple et facile basé sur l'expérimentation. Aussi, dans cet ouvrage les mécanismes liés à la neurotransmission sont bien déterminés et bien définis et ils sont même schématisés ce qui facilite leur appropriation par les étudiants.

- **Ouvrage F**

L'analyse de l'ouvrage F nous a montré que l'auteur a combiné les outils théoriques, technologiques et expérimentaux pour exposer les deux modèles de la neurotransmission (électrique et chimique).

- **Ouvrage G**

L'analyse en profondeur de l'ouvrage G, nous a montré d'une part que le corps du discours aborde directement l'étape 2 sans évoquer les notions del'organisation du système nerveux ou l'anatomie du neurone et d'autre part la présence d'une nouvelle forme de présentation de la séquence d'enseignement de la neurotransmission visant à réduire le caractère de complexité et de difficulté lié à cet enseignement. Cet ouvrage rejoint tous les ouvrages déjà analysés, à l'exception de l'ouvrage C, dans la focalisation sur le modèle électrique pour traiter le concept de la transmission de l'information qui occupe une partie importante dans le corps de discours de l'ouvrage.

- **Ouvrage H**

Dans l'ouvrage H, c'est l'ouvrage le plus récent de la collection consultée, les chapitres sont compréhensibles et accessibles pour les étudiants. Aussi, la lecture approfondie de cet ouvrage a montré que l'auteur a utilisé une démarche synthétique pour exposer l'ensemble des concepts de la neurotransmission. En effet, l'analyse de cet ouvrage nous a montré que la grande partie du chapitre traitant la neurophysiologie était consacrée à la naissance et la propagation de l'information nerveuse: les mécanismes électrochimiques qui sous-tendent le passage du neurone de l'état de repos (où le neurone est polarisé) à l'état actif (où le neurone passe un état de dépolarisation, repolarisation, hyperpolarisation) et enfin le retour à l'état de repos. Cela au détriment de la transmission de l'information d'une cellule nerveuse à l'autre ou d'une cellule nerveuse à une cellule effectrice à savoir la neurotransmission.

Tableau 7 : Notions et concepts du Potentiel d'Action dans l'étape 2

Notions et concepts concernant le Potentiel d'Action	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**H**
Potentiel de Repos ou				++	+	+		++
-Théorie de potentiel de Repos.	++	++						
Potentiel d'Action :				++	+	++	+	++
- Théorie de Potentiel d'Action	++	++	++					
- Potentiel monophasique ou de pointe.	+							
- Potentiel biphasique.	+	+						
- Potentiels locaux.	+	+						
- Réponse locale.		++					+	+
- Seuil d'excitation.	++	++						+
- Intensité liminaire ou Rhéobase.	++						+	
- Loi de tout ou rien ; Période réfractaire.	++	++						
		++						
- Chronaxie ; Electrotonus.	++							
- Accomodation ; pente limite.	++	++						
- Dépolarisation ; Hyperpolarisation et Repolarisation.		++	++					
		+		++	+	+	+	+
Théorie de la membrane :	++		++					
- Gradient de concentration.		+						
- Gradient électrochimique.				+				+
- Equilibre ionique.		+						
- Equilibre de Gibb-Donnan.		+						++
- Notion de conductance membranaire aux ions Na+ et K+.		++		++				
- Equation de Nernst.				++		+	+	+
Théorie ionique :	++	++	++					
- Hypothèse de pile de concentration de Na+ et de K+.	+							
- Concentrations ioniques.	+							
- Flux des ions.	++							
- Transports actifs.	++			++				
- Méthode de « voltage imposé ».	+	++						
- « Pompe Sodium-Potassium ».		+						
- Canaux ioniques.		+		++	+	++	+	+
- Pompe Na+/K+.				++	+	++	+	+
- Technique de Patch Clamp.				++		++	+	+
Représentations iconiques			2	26	3	12	12	18

++ Constitue un paragraphe bien détaillé
+ Définition courte
- Traité sans être détaillé

Tableau 8 : Notions et concepts liés à la Neurotransmission dans l'étape 2

Notions et concepts liés à la neurotransmission	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**H**
Synapse :	+		++	+	+	++	++	++
- Synapse neuro-effectrice ; synapse neuro-neuronique et synapse neuro-musculaire.	++							
- Synapse axo-dendritique ; synapse axo-somatique et synapse axo-axonique.			++					
Structures synaptiques :								
- La membrane synaptique.			++					
- Espace ou fente synaptique.			++					
- Vésicules synaptiques.			++					
Complexe synaptique :								
- Elément pré-synaptique.				+	+	+	+	+
- Fente synaptique.				+	+	+	+	+
- Elément post-synaptique.				+	+	+	+	+
Activité réflexe	+		+					
Transmetteurs synaptiques ou Neurotransmetteurs :	+		++	++	+	++	++	++
- Acétylcholine.	+		+	++	-	++	+	+
- Acides aminées.	+		+	++	-	++	+	+
- Monoamines.	+		+	++	-	++	+	+
- Neuropeptides.				++	-	++	+	+
Récepteurs			++	+		+	+	+
Potentiels Post-synaptiques excitateurs (PPSE) ou inhibiteurs (PPSI).			++	+	+	++	++	++
La jonction neuromusculaire et la transmission neuromusculaire.			++	+		+	+	++
Les mécanismes de la Neurotransmission	+		++	++	+	++	+	++
Représentations iconiques			5	16	5	12	4	6

++ Constitue un paragraphe bien détaillé
+ Définition courte
- Traité sans être détaillé

II.2.4. Différentes définitions des concepts liés à la neurotransmission

L'histoire du concept de la neurotransmission a montré qu'il n'est pas isolé et qu'il est présenté dans un réseau de concepts organisateurs (neurone, synapse, neurotransmetteur). Cependant, l'analyse de l'ensemble des ouvrages nous a montré la présence d'une évolution dans les définitions des concepts ainsi que les mécanismes intervenant dans la transmission

synaptique ou neurotransmission. C'est pour cela, que nous avons fait une relecture approfondie afin de cerner toutes les définitions des concepts exposées dans ces ouvrages.

a. Définition du neurone

L'excellent travail des histologistes durant plus de 150 ans a mené à reconnaitre dans l'ensemble du système nerveux l'existence de cellules aux caractéristiques particulières, spécifiques et désignées sous le terme de neurones. Ce concept a été traité et défini dans tous les ouvrages à l'exception des deux ouvrages C et G.

- ***Définition du neurone dans l'ouvrage A***

- Selon Ramon y Cajal (1880), la cellule nerveuse est sous forme d'entité limité et distincte. (p. 30)
- C'est une cellule nerveuse spécialisée dans la transmission à distance et assure la propagation du courant électrique le long de l'axone. (p.31)
- Elle transforme le stimulus agissant au niveau d'une partie limitée du neurone en décharge d'une substance chimique au niveau d'une autre partie ; parfois très éloignée de la première. (p.250).

- ***Définition du neurone dans l'ouvrage B***

- SelonRamon y Cajal (1880) :
- La cellule nerveuse constituait une entité distincte, tant du point embryologique que trophique ou fonctionnel. (p.1)
- Une cellule munie de prolongements abondants, ramifiés et éventuellement de grande longueur. Il en résulte que, dans sa description, on distingue d'une part le corps cellulaire ou soma, d'autre part ses prolongements de nombre et de caractères variables : dendrites et axone. (p.2)
- La conductibilité constituait la caractéristique fondamentale du neurone. (p.23)

- ***Définition du neurone dans l'ouvrage D***

- Les neurones sont des : Unités séparées, communiquant les uns avec les autres à travers des contacts établis par leurs prolongements : « les ramifications nerveuses terminales sont libres et ne s'unissent pas à d'autres ramifications nerveuses. Elles s'appliquent par contact sur le corps et sur les expansions protoplasmiques d'autres éléments cellulaires ». (p.1)

- Les neurones sont responsables de l'émission et de la propagation des messages nerveux. En effet, en fonction des informations qu'ils reçoivent, ils sont capables d'émettre des signaux électriques et de les propager le long de leurs prolongements. Cette propriété est due à la présence, dans leur membrane plasmique, de protéines particulières qui laissent passer sélectivement certains ions : les canaux ioniques. (p.1)

- Les neurones ont un corps cellulaire d'où partent deux types de prolongements: les dendrites et l'axone. (p.4)

- ***Définition du neurone dans l'ouvrage E***

- Le neurone est une cellule excitable. (p.80)

-Les neurones possèdent généralement de nombreuses ramifications ; l'une d'entre elles, l'axone, émerge du corps cellulaire au niveau du cône axonique. Généralement fin et long, d'épaisseur quasi constante, peu ramifié, il ne contient pas de ribosomes.

Les dendrites : autres prolongements sont souvent larges à leur point d'émergence puis plus fines aux extrémités, ramifiées et contiennent des ribosomes.

- Lorsque l'information est véhiculée par l'axone, elle nait généralement au niveau du cône axonique et elle est véhiculée vers la terminaison pour être transmise vers la cellule cible. (p.80)

- ***Définition du neurone dans l'ouvrage F***

- Dans les années 1880, Ramon y Cajal montait que les cellules nerveusesou neurones sont indépendantes les unes des autres et possèdent de nombreuses ramifications qui peuvent parfois être très longues. (p.47)

-Le neurone permet la conduction d'une information sous la forme d'une variation de la différence de potentiel transmembranaire et sécrète des substances au niveau des terminaisons synaptiques des neurotransmetteurs. Il contient le corps cellulaire ou « soma » et des prolongements cellulaires : dendrites et axone. (p.48)

- Le neurone est spécialisé dans la communication cellulaire. Cette communication s'établitentre deux neurones ou entre neurone et son récepteur, se réalise principalement par transfert de mol écules chimiques au niveau des synapses. Les informations générées en un point d'un neurone sont véhiculées le long de celui-ci par des phénomènes électriques. (p.74)

- ***Définition du neurone dans l'ouvrage H***

- Le neurone ou Cellule nerveuse est formée d'un corps cellulaire (soma) et de prolongements. Ces prolongements sont de deux types : les dendrites et l'axone. (p.384)
- Les neurones assurent la synthèse de la plupart des macromolécules indispensables. (p.386)
- Le neurone est une cellule sécrétrice et synthétise un ou plusieurs neurotransmetteurs (acétylcholine, acides aminés, amines biogènes et peptides) qu'elle libère au niveau des synapses. (p.387).

La lecture approfondie des définitions du neurone dans les différents ouvrages met en évidence une progression dans la formulation des définitions de ce concept. En effet, les deux ouvrages anciens (A et B) de la collection analysée ont défini le concept du neurone selon une démarche historique en faisant appel à la définition issue depuis 1880 par Ramon y Cajal qui a confirmé la discontinuité du tissu nerveux et la présence des cellules distinctes. Or, l'ouvrage B, contient beaucoup plus de détails sur l'anatomie du neurone par rapport à l'ouvrage A.

Par ailleurs, les ouvrages récents (D, E, F et H), ont adopté une approche synthétique sans pour autant négliger les explications essentielles pour définir le concept du neurone. Ainsi, on voit une focalisation du discours de ces quatre ouvrages sur l'expérimental et les représentations graphiques pour déterminer les composantes du neurone et même son importance dans la conductance et la propagation de l'information sous forme de signaux électriques.

b. Définition de la synapse

C'est Sherrington (1897) qui introduisit le terme de « Synapse », cette synapse participe à la transmission du message nerveux d'un neurone à un autre neurone ou une autre cellule cible. En effet, cette découverte du XIXème siècle a cédé le pas à un ensemble de travaux et d'études pour mettre en place une transmission synaptique de nature chimique. Ce concept a été définit dans tous les ouvrages consultés sauf l'ouvrage B.

- ***Définition de la synapse dans l'ouvrage A***

- Rapports entre les fibres nerveuses énervantes et les éléments innervés. (p.196)
- Organites spéciaux. (p.197)

- ***Définition de la synapse dans l'ouvrage C***

- En 1897, Sherrington suggérait que lorsque des neurones se trouvent en étroite opposition par certaines portions de leurs membranes, ces dernières acquièrent des propriétés spéciales et il proposait le terme de « synapse » pour distinguer cette aire de jonction. (p.1)

- Région de contact entre deux neurones où apparaissent des différenciations structurales et fonctionnelles de telle nature que dans des circonstances déterminées l'activité de l'un entraine l'excitation ou l'inhibition de l'autre. (p.1)

- Au niveau des synapses, les membranes des deux éléments nerveux en contact demeurent continues et distinctes, séparées l'une de l'autre par un espace d'épaisseur très réduite mais bien net : l'espace synaptique ou fente synaptique. (p.7)

- Synapse à transmission chimique a un couplage électrique entre les membranes pré et post-synaptique faible, elle est unidirectionnelle avec un délai synaptique constant. La membrane de son élément post-synaptique au-dessous de la terminaison pré-synaptique ne parait pas électriquement excitable. Ainsi, que la réponse de l'élément post-synaptique est due à l'action d'une substance neuro-effectrice libérée par l'élément pré-synaptique. (p.48)

- Synapse à transmission électrique a un couplage électrique entre les membranes pré et post-synaptique fort, elle est bidirectionnelle avec un délai synaptique très faible. La membrane de l'élément post-synaptique est électriquement excitable dans sa totalité et aucune substance neuro-effectrice n'est libérée lors du fonctionnement. (p.49)

- ***Définition de la synapse dans l'ouvrage D***

- Désigne les connexions entre neurones et cellules effectrices comme les cellules musculaires et glandulaires. C'est au niveau de ces contacts que s'effectue la transmission des informations d'une cellule à une autre : la transmission synaptique. (p.29)

- Synapse électrique ou jonction communicante qui se caractérise morphologiquement par l'écolement des membranes plasmiques des régions cellulaires ainsi connectées. Dans ce cas, les signaux électriques sont directement transmis d'une cellule à l'autre sans l'intermédiaire chimique. (p. 29)

- Synapse chimique se caractérise morphologiquement par la présence d'un espace entre les membranes plasmiques des cellules connectées. Cet espace est appelé fente synaptique. (p. 31)

- Le complexe synaptique comprend trois parties: l'élément pré-synaptique qui contient les vésicules synaptiques, la fente synaptique et l'élément post-synaptique qui se caractérise par

la présence des récepteurs post-synaptiques dans cette région. Il présente une asymétrie de structure et une asymétrie fonctionnelle. (p. 32)

- ***Définition de la synapse dans l'ouvrage E***

- Est constituée de l'extrémité renflée de l'axone, de la région différenciée de la cellule à laquelle il est associé et de l'espace intercellulaire qui les sépare. (p.82)
- Structure différenciée assurant la communication entre un neurone et sa cellule cible. (p.82)

- ***Définition de la synapse dans l'ouvrage F***

- Les contacts assurant une communication entre ces cellules, ont, par la suite été qualifiés de synapses (chimiques et électriques). Les phénomènes qui se développent à ce niveau constituent la transmission synaptique. (p.48)
- Synapse chimique est constituée des vésicules synaptiques contenant un neuromédiateur dans la fibre nerveuse pré-synaptique, une fente synaptique et d'une membrane post-synaptique. (p.99)
- Synapse électrique ou jonction communicante directe est une voie de perméation passive mettant en communication les deux compartiments intracellulaires et permettant ainsi l'établissement de lignes de courants comparables à celles qui se produiraient dans une cellule unique. (p.100)

- ***Définition de la synapse dans l'ouvrage G***

- Structures membranaires spécialisées dans la transmission de signaux d'une cellule à l'autre et donc le passage de l'information au travers du réseau neuronal. (p. 376)
- Ils comprennent des jonctions entre neurones, mais aussi des jonctions entre les terminaisons axonales et diverses cellules effectrices. (p. 392)
- Comportent un élément cellulaire pré-synaptique séparé d'un élément post-synaptique par une fente synaptique. (p.393)
- Les synapses électriques ont des faces pré et post-synaptiques qui sont morphologiquement semblables et une fente synaptique étroite. Dans ces synapses, la transmission s'effectue par simple propagation électrotonique d'une cellule à l'autre par les courants résultant du potentiel d'action de l'élément pré-synaptique, ces synapses sont couplées électriquement. (p.394)
- Les synapses chimiques présentent une asymétrie marquée des deux membranes avec les caractéristiques suivantes : une membrane pré-synaptique qui contient des vésicules

synaptiques contenant le neurotransmetteur, une fente synaptique et une membrane post-synaptique contenant des récepteurs spécifiques du neurotransmetteur. (p.394)

- ***Définition de la synapse dans l'ouvrage H***

- Les synapses sont généralement chimiques, ces connexions réalisent des circuits ou réseaux neuronaux capables d'opérations complexes de traitement de l'information. (p.395)
- Constituées d'une terminaison axonale qui est la partie pré-synaptique contenant les vésicules synaptiques, de la membrane post-synaptique contenant des protéines transmembranaires qui sont les récepteurs du neurotransmetteur et une fente synaptique. (p.395).

La progression des connaissances sur la physiologie des synapses se sont accrues de façon sensible ces dernières années. Ces progrès sont dus aux développements conjugués des techniques micro-électrophysiologiques, de la microscopie électronique et l'apparition de la biologie moléculaire. En effet, toutes ces techniques ontprécisé la notion de synapse en abordant son anatomie ainsi que sa fonction importante dans la transmission de l'information. En effet, l'analyse des ouvrages nous a montré cette progression dans la définition de la synapse en passant d'une définition purement historique dans l'ouvrage A vers une définition plus précise qui s'appuie sur les structures pour déterminer la fonctionnalité de la synapse et même de mettre en évidence son importance dans la transmission du message nerveux. Cette définition est repérée dans les ouvrages (C, D, E, F, G et H).

c. Définition du neurotransmetteur

Selon l'histoire de la neurotransmission, le concept de neurotransmetteur a été introduit par Loewi pour démontrer la présence d'une substance chimique qui est en faveur d'un mécanisme chimique de la neurotransmission. Nous présentons ci-dessous toutes les définitions données par les ouvrages consultés. A noter que ce concept n'est pas traité dans l'ouvrage B.

- ***Définition du neurotransmetteur dans l'ouvrage A***

- L'élément pré-synaptique « sécrète » au moment de son activité une substance « excitante », qui diffuse vers l'élément pot-synaptique sur lequel elle agit. L'agent qui sert à communiquer l'effet à travers la synapse a été appelé plus tard le transmetteur. (p.197)

- Le transmetteur est une substance libérée au niveau des terminaisons nerveuses pendant la stimulation, substance que la circulation que la circulation distribuait ensuite dans le reste de l'organisme et qu'ils appelèrent « sympathine ». (p.199)
- l'agent qui assure la transmission de l'influx nerveux à l'effecteur c'est le transmetteur synaptique. (p.199)
- Acétylcholine, noradrénaline et adrénaline. (p.200 ; p. 201)

- ***Définition du neurotransmetteur dans l'ouvrage C***

- Le transmetteur synaptique est une substance neuro-effectrice. (p.100)
- Il est libéré par les terminaisons synaptiques.
-Acétylcholine (p.102), Acides aminés : GABA.(p.103), Monoamines : dopamine, noradrénaline et sérotonine. (p.107)

- ***Définition du neurotransmetteur dans l'ouvrage D***

- Le neurotransmetteur est une molécule chimique, qui transmet les informations de la cellule pré-synaptique à la cellule post-synaptique. (p.29)
- Molécule de nature variée : Acétylcholine, Acides aminés, Catécholamine et Peptides, libéré par les neurones au niveau des synapses chimiques. Il transmet les messages d'un neurone à une cellule effectrice ou bien encore d'une cellule sensorielle à un neurone. Chaque neurotransmetteur à ses particularités. (p.329)

- ***Définition du neurotransmetteur dans l'ouvrage E***

- Molécule à valeur informative assurant la transmission de l'information d'un neurone vers la cellule cible. (p.82)
- Acétylcholine, Catécholamines, Acides aminés, Neuropeptides. (p.87)

- ***Définition du neurotransmetteur dans l'ouvrage F***

- Neurotransmetteur ou neuromédiateur est une substance chimique synthétisée par le neurone pré-synaptique, libérée lors d'une stimulation pré-synaptique, rapidement dégradée par des enzymes localisées au niveau post-synaptique et dont l'application dans le milieu a les mêmes effets post-synaptiques qu'une stimulation pré-synaptique. (p.96)
- Acétylcholine, Catécholamines, Acides aminés, Neuropeptides. (p.117)

- ***Définition du neurotransmetteur dans l'ouvrage G***

- Le Neurotransmetteur est une substance chimique synthétisée dans l'élément pré-synaptique. (p.402)
- Acétylcholine, Catécholamines, Acides aminés, Neuropeptides. (p.402)

- ***Définition du neurotransmetteur dans l'ouvrage H***

- Neurotransmetteur ou neuromédiateur est une substance chimique libérée par un neurone au niveau d'une synapse. Il modifie de façon spécifique l'activité d'une autre cellule, neurone ou cellule de l'organe cible. (p.407)

En résumé, d'après l'analyse approfondie de la définition du neurotransmetteur dans les différents ouvrages, on a constaté une différence dans la syntaxe utilisée pour définir cette notion. En effet, dans les ouvrages anciens (A et C) le concept a été introduit selon le terme de « Transmetteur synaptique », mais dans les ouvrages récents (D, E, F, G et H) les auteurs ont commencé de définir ce concept selon le terme du « Neurotransmetteur ou Neuromédiateur ». Cette progression dans la nomenclature de ce concept est due à l'évolution des connaissances en neurophysiologie et aussi à la maturité du concept de neurotransmetteur qui selon son histoire, il a été maturé entre 1952 et 1970.

Aussi, cette analyse nous a permis de repérer l'apparition de nouveaux neurotransmetteurs tels les neuropeptides dans les ouvrages récents (D, E, F, G et H). Cependant, les retombées pharmacologiques du concept et son implication par l'utilisation de médicaments neurotropes ou psychotropes, a favorisé son adoption et son ancrage dans la mentalité scientifique collective et commence à être enseigné.

Les ouvrages récents analysés ont tendance d'utiliser une approche synthétique pour définir le concept de neurotransmetteur, cette approche semble avoir lerisque de minimiser l'importance et le rôle primordial de ce concept dans le mécanisme de la neurotransmission. Or, dans son cheminement historique et épistémologique, ce concept était à la base de la validation d'une neurotransmission de nature chimique.

d. Définition de la neurotransmission ou transmission synaptique

La neurotransmission est un carrefour passionnant et l'un des concepts fondamentaux en biologie. Cette question s'inscrit dans une problématique de la physiologie du XX^{e} siècle. Cependant, l'histoire de la neurotransmission nous a permis de décrire l'opposition de deux

théories cohérentes chimique et électrique, mais dont une seule sera adoptée et l'autre sera rejetée. Nous citons ci-dessous les différentes définitions données dans tous les ouvrages consultés à l'exception de l'ouvrage B où l'auteur n'a pas définit le concept de la neurotransmission.

- ***Définition de la neurotransmission dans l'ouvrage A***

- La définition de la transmission synaptique envisagée par Du Bois Reymond en 1874 : l'élément pré-synaptique agit sur l'élément post-synaptique par le moyen des courants électriques qui accompagnent son activité. (p.197)
- La théorie électrique avait l'avantage de pouvoir s'appuyer sur un modèle de transmission connu. En effet, l'excitation du nerf sciatique de la patte galvanoscopique, au moment de la contraction d'un muscle, se fait par l'intermédiaire des courants d'action de ce muscle, de même la propagation de l'excitation le long de la fibre, c'est-à-dire, la transmission de l'activité d'un point à un autre, se fait par l'intermédiaire des courants locaux. (p.198)
- La succession d'événements de la transmission neuromusculaire est la suivante : potentiel de pointe dans la terminaison nerveuse - potentiel de plaque motrice – potentiel de pointe dans la fibre musculaire. Chaque étape dans cette séquence détermine la suivante. Ainsi, le potentiel de pointe de la fibre nerveuse produit le potentiel de plaque motrice par l'intermédiaire de l'acétylcholine. (p.206)

- ***Définition de la neurotransmission dans l'ouvrage C***

- La transmission neuromusculaire est une succession des événements se déroulant entre le moment où le potentiel d'action nerveux arrive à l'extrémité de l'axone moteur et celui où se produit le développement de la contraction musculaire. (p.27)

- ***Définition de la neurotransmission dans l'ouvrage D***

Schéma général de la transmission synaptique :
Le neurotransmetteur est synthétisé dans la terminaison axonale à partir d'un précurseur présent dans la terminaison axonale ou apporté par le sang. Les enzymes nécessaires à cette synthèse sont synthétisées dans le soma et apportées aux terminaisons axonales par le transport axonal. Le neurotransmetteur nouvellement synthétisé est stocké dans les vésicules synaptiques. Lorsque la membrane de l'élément pré-synaptique est dépolarisée par l'arrivée de potentiels d'action, ceci entraine l'ouverture des canaux Ca^{2+} sensibles au voltage présents dans la membrane pré-synaptique. L'entrée des ions Ca^{2+} à travers ces canaux

provoque une augmentation de concentration intracellulaire en ions Ca^{2+}, facteur indispensable au déclenchement de l'exocytose qui entraine une libération des molécules de neurotransmetteur dans la fente synaptique. Une fois libérées, elles vont se fixer sur les récepteurs post-synaptiques spécifiques. C'est en se fixant sur les récepteurs-canaux ou les récepteurs liés aux protéines G post-synaptiques que le neurotransmetteur transmet l'information de l'élément pré-synaptique à l'élément post-synaptique. Le neurotransmetteur, qui s'est fixé ou non, est recapté par l'élément pré-synaptique et/ou les cellules gliales et/ou dégradé dans la fente synaptique. Ceci permet d'éliminer le neurotransmetteur de la fente synaptique. Une fois recapté par l'élément pré-synaptique, le neurotransmetteur est remis en vésicules. La membrane est recyclée par un processus d'endocytose. (p.329-331)

- ***Définition de la neurotransmission dans l'ouvrage E***

Transmission des messages d'une cellule nerveuse à une autre :
Au niveau de la terminaison pré-synaptique, les lignes de courant dues à la présence d'un potentiel d'action provoquent l'ouverture de canaux calciques. Le ca^{2+}pénètre alors dans le compartiment intracellulaire où il agit ici comme in signal intracellulaire (second messager) et provoque la libération du neurotransmetteur stocké dans les vésicules cytoplasmiques. Une fois le neurotransmetteur libéré, celui-ci diffuse dans l'espace synaptique et se fixe sur les récepteurs spécifiques localisés dans la membrane post-synaptique. Parallèlement, les molécules de neurotransmetteurs sont dégradées par des enzymes localisées soit dans la membrane, soit dans l'espace inter-synaptique. La fixation du neurotransmetteur sur son récepteur provoque un changement de conformation qui se traduit directement ou indirectement par l'ouverture de canaux ioniques. Les mouvements ioniques qui se produisent alors provoquent des modifications de la différence de potentiel transmembranaire, qualifiées de potentiels post-synaptiques (excitateurs ou inhibiteurs). (p.82)

- ***Définition de la neurotransmission dans l'ouvrage F***

La transmission synaptique ou neurotransmission est effectuée par un intermédiaire chimique qui est le neuromédiateur ou neurotransmetteur de façon unidirectionnelle de l'élément pré-synaptique vers l'élément post-synaptique selon les étapes suivantes :
1-Le neuromédiateur est libéré sous l'effet de l'activité électrique pré-synaptique dans la fente synaptique. Ainsi, qu'une pénétration de calcium intracellulaire dans la terminaison pré-synaptique précède la libération du neuromédiateur. L'augmentation de la concentration

intracellulaire en calcium permet une migration et une exocytose des vésicules synaptiques contenant le neuromédiateur.
2-Le neuromédiateur agit soit directement sur une protéine canal (récepteur spécifique) soit par l'intermédiaire des messagers intracellulaires en provoquant la réponse spécifique de la cellule cible (cellule post-synaptique).
3-Le neuromédiateur est rapidement inactivé par des enzymes de dégradation. (p.96-109)

- ***Définition de la neurotransmission dans l'ouvrage G***

La transmission synaptique chimique s'effectue toujours de façon unidirectionnelle de l'élément pré-synaptique vers l'élément post-synaptique. Ses différentes étapes peuvent être résumées ainsi :
-Evénements pré-synaptiques : après avoir été synthétisée dans la terminaison axonale pré-synaptique, le neurotransmetteur est stocké dans les vésicules synaptiques. L'arrivée de potentiels d'action provoque l'ouverture des canaux Ca^{2+} et par la suite l'exocytose des vésicules et la libération du neurotransmetteur dans la fente synaptique. (p.394)
-Evénements post-synaptiques : interaction du neurotransmetteur avec des récepteurs spécifiques de la membrane post-synaptique entrainant des changements de perméabilité de cette membrane et la genèse d'un potentiel post-synaptique, soit des potentiels post-synaptiques excitateurs ou potentiels post-synaptiques inhibiteurs. (p.395)

- ***Définition de la neurotransmission dans l'ouvrage H***

- La transmission de l'information dans la synapse chimique est unidirectionnelle, elle va de la partie pré-synaptique vers la partie post-synaptique. Ses différentes étapes peuvent être résumées ainsi :
L'arrivée d'un potentiel d'action ***(1)*** *dépolarise la terminaison pré-synaptique et entraine l'entrée d'ions calcium (Ca^{2+}) par des canaux voltage dépendants* ***(2)****. L'augmentation de la concentration en ions calcium déclenche la fusion des vésicules synaptiques avec la membrane au niveau de « zones actives »* ***(3)****, puis la libération par exocytose du neurotransmetteur dans la fente synaptique* ***(4)****. Enfin, la fixation de ce dernier sur le récepteur post-synaptique pour assurer le passage de l'information* ***(5).*** *(p.395).*

En résumé, l'analyse approfondie des ouvrages consultés, nous a montré dans un premier temps, qu'il y a une évolution dans la définition du concept de la neurotransmission depuis les ouvrages anciens (A et C) jusqu'aux ceux récents (D; E; F; G et H). En effet, les ouvrages

anciens utilisaient un discours théorique et hypothétique pour décrire les événements qui se succèdent lors de la neurotransmission et qui montrent que se sont encore en cas de doute pour décrire les différentes étapes de ce concept. Pour les ouvrages récents, les concepts se sont dépourvus de caractère théorique et hypothétique car ils se sont purifiés et maturés cela est due au développement dans divers domaines tels que la neurobiologie cellulaire ainsi que l'électrophysiologie.

Dans un second temps, il nous semble que l'ensemble des ouvrages consacrent une partie importante du corps de leurs discours pour traiter surtout la création, la propagation de l'information nerveuse de nature électrique au détriment de la nature chimique de cette propagation. Cette focalisation sur la nature électrique peut être à l'origine d'un ensemble d'obstacles et de difficultés qui peuvent entraver l'assimilation et la compréhension du concept de la neurotransmission lors de son enseignement.

III. Discussion et interprétation

L'histoire des sciences en général et de la neurotransmission en particulier n'est pas linéaire (Comte, 1830). Elle n'a pas manqué de susciter des controverses techniques et philosophiques qui ont duré longtemps. Cette histoire qui ne cesse de se poursuivre et qui n'a pas de fin a rendu difficile sinon impossible de faire toute l'histoire de ce concept scientifique (Dupont, 1999). Dans ce contexte, plusieurs constations ont été faites après l'analyse des ouvrages consultés:

1) Les ouvrages proposent une exposition linéaire de l'évolution historique du concept de la neurotransmission et ne parlent pas de la rupture épistémologique qui a donné naissance à cette connaissance. Ce constat est conforme avec une étude menée par Bouayad (2015) qui a souligné lors d'une analyse des ouvrages de référence liés au concept de la liaison chimique que les données de la plupart de ces ouvrages proposent une exposition linéaire et n'abordent pas la rupture épistémologique qui a donné naissance à ce concept.

2) Il existait une différence de contenus entre les anciens ouvrages de référence (édités avant 1990) et les ouvrages récents (édités après 1990). Cette différence marque une évolution de la transposition didactique dans le temps. Cela est traduit par les adaptations et les changements du contenu de la neurotransmission pour passer d'un savoir savant dans les ouvrages anciens à un savoir à enseigner dans les ouvrages récents et aussi il est recontextualisé dans la transposition didactique appropriée à son enseignement à l'université.

Cette adaptation du contenu d'enseignement de la neurotransmission a pu révéler une divergence entre les ouvrages de référence analysés. Cependant, les auteurs des ouvrages anciens (A, B et C) ont montré une fidélité à la démarche historique alors que les auteurs des ouvrages récents (D, E, F, G et H) ont adopté des démarches pédagogiques scientifiques basées sur l'expérimentation, en faisant un lien entre la science et le milieu externe de l'étudiant. Ce résultat est confirmé par une étude menée par Kaddari (2005) dans l'analyse des ouvrages de référence liés à l'atomistique.

3) Pendant la période incluant les dates d'éditions du premier et dernier ouvrage analysé, nous avons pu distinguer la présence d'une rupture marquant l'évolution du contenu de la neurotransmission. En effet, il ressort de cette analyse qu'il y a une nouvelle réorganisation du contenu de la neurotransmission avec l'apparition d'une nouvelle démarche dans la présentation de ce contenu. Cette réorganisation est située vers les années 90 où le savoir savant de la neurotransmission reconnu par la communauté scientifique était beaucoup plus une propriété des chercheurs.

- ***Evolution du contenu au niveau des entrées en matière***

Les ouvrages de référence édités avant 1990, les entrées en matière représentaient une introduction historique sur la genèse du concept du neurone (A et B) alors que l'ouvrage C aborde directement la deuxième entrée portant sur la naissance, la propagation et la transmission de l'information.

Pour l'ouvrage D qui est édité en 1990, l'auteur a adopté la première entrée avec une convergence vers la deuxième entrée.

Pour les ouvrages de référence récents (E; Fet H) édités après 1990, Les auteurs ont abordé aussi la première entrée à l'exception de l'ouvrage G qui a émergé directement dans la deuxième entrée.

De la lecture approfondie de l'ensemble des ouvrages consultés, il ressort que pour chacune des deux entrées, nous avons constaté une évolution dans le contenu d'enseignement. A noter que les ouvrages anciens se basaient sur une démarche historique et théorique pour présenter les notions liées au système nerveux et au neurone. A l'opposé des ouvrages récents qui exposaient ces notions selon une démarche beaucoup moins compliquée. Le même constat a été noté pour la deuxième entrée.

- ***Evolution de défilement des connaissances***

Une lecture attentive a montré des divergences et des différences incontestables dans le corps du discours des ouvrages de référence analysés. Nous avons remarqué une certaine rupture entre les ouvrages édités avant 1990 et ceux édités après 1990. Les premiers ouvrages (A; B et C) sont des ouvrages anciens qui représentaient une fidélité à la démarche historique. En effet, les auteurs de ces ouvrages ont donné beaucoup de détails sur les origines des concepts liés à la neurotransmission. Dans ces ouvrages le discours est théorique, les concepts ne sont pas encore maturés et purifiés et se sont encore en phase de théorie et hypothèse ce qui confirme l'état de doute des auteurs de ces ouvrages. Cet état a longtemps marqué l'histoire du concept de la neurotransmission. Aussi, les auteurs de ces ouvrages semblent être influencés par la théorie électrique de la neurotransmission puisqueces ouvrages sont édités au cours de la période de maturité du concept de neurotransmetteur et par la suite la validation d'une neurotransmission de nature chimique.

Certaines notions ont cessé d'être présentes et ont été dépassées par la communauté scientifique, ce qui s'explique par l'évolution de leur sens scientifiques due au perfectionnement des méthodes et des techniques dans les laboratoires des neurosciences. Or certaines notions sont restées ancrées le long de cette histoire et restent encore fonctionnelles en enseignement.

Pour les ouvrages récents (D, E, F, G et H), le discours utilisé est dépourvu du caractère théorique et historique. Les auteurs se basaient sur des approches synthétiques et aussi expérimentales pour exposer les concepts du neurone, synapse, neurotransmetteur et neurotransmission. Les auteurs de ces ouvrages ont adopté une démarche pédagogique appropriée au niveau cognitif des étudiants à l'université. Cependant, le contenu d'enseignement de la neurotransmission est trop synthétique ce qui risque de minimiser son importance et aussi le rendre artificiel comme s'il n'a pas d'origine historique (Giordan, 1998).

- ***Evolution au niveau de la définition de la neurotransmission et ses concepts associés***

D'après l'analyse des ouvrages anciens (A, B et C), il semble que les auteurs donnent des définitions purement historique et qui renvoient à l'origine de l'apparition des concepts. Aussi, le corps du discours des trois ouvrages présente une certaine similitude car il n'est pas adopté au contexte de l'enseignement du contenu de la neurotransmission, aussi la démarche

historique avec laquelle ce savoir est exposé à caractère soutenu est loin d'être assimilée par les étudiants.

Dans les ouvrages récents, les deux ouvrages F et D sont des ouvrages spécialisés, le premier dans la neurophysiologie et le deuxième dans la neurobiologie cellulaire. Pour l'ouvrage F, l'auteur dans le corps du discours a insisté sur la discontinuité du tissu nerveux et qu'il existait une succession des phénomènes électriques et chimiques lors de la transmission synaptique.

Pour l'ouvrage D, l'auteur a défini le concept de la neurotransmission en se basant sur les mécanismes des canaux ioniques membranaires et les récepteurs post-synaptiques dans le passage des neuromédiateurs pour permettre la transmission de l'information. Or, les autres ouvrages récents (G, E et H), se focalisent sur la nature électrique de la naissance et propagation de l'information au détriment de la transmission synaptique de nature chimique et cela peut entraver les apprentissages des étudiants et aussi convergent leur assimilation du concept vers une transmission de nature électrique. En effet, l'ensemble des ouvrages récents ont tendance à utiliser les représentations iconiques (schémas explicatifs) pour définir les étapes de la neurotransmission et aussi pour faciliter leurs mémorisations par les étudiants.

L'analyse des différentes définitions exposées dans l'ensemble des ouvrages de référence consultés, nous a montré que le concept de la neurotransmission n'est pas isolé par contre il est inclus dans un réseau conceptuel bouclé. Ceci est bien confirmé dans son histoire qui a commencé par l'introduction du concept de neurone qui est à la base de la confirmation de la théorie neuronale de Ramon y Cajal (1888), suivi de la découverte de la synapse par Sherrington (1897) et par la suite la naissance du concept de neurotransmetteur et sa validation pour qu'il soit en faveur d'un mécanisme chimique de la neurotransmission.

IV. Savoir enseigné: Texte du savoir neurotransmission

Dans cette étape, nous avons analysé le polycopié destiné à l'enseignement du cours de la neurophysiologie traitant le concept de la neurotransmission, dispensé aux étudiants du premier cycle universitaire (Semestre 4) de la filière Sciences de la vie (SVI). Cette analyse sera faite pour deux polycopiés du cours pour le niveau S4 durant deux années universitaires 2015-2016 et 2016-2017.

Avant de commencer notre analyse des deux dispositifs pédagogiques, il nous a semblé important de voir les grandes lignes du programme établi par le ministère et qui sont rapportées dans le descriptif de la filière.

IV.1. Description du contenu de la neurophysiologie de S4

Dans le descriptif de la filière, l'objectif du cours traitant la neurotransmission est : « *Comprendre les propriétés électrophysiologiques de la cellule nerveuse et les caractéristiques de certaines cellules comme la cellule musculaire, afin de permettre à l'étudiant de mieux comprendre certains mécanismes qui régissent le fonctionnement de notre corps* ».

Le cours est structuré comme suit :

Les cellules nerveuses

1. *Les cellules et le tissu nerveux.*
2. *Ontogenèse, organisation anatomique et réseaux neuronaux.*
3. *Neurotransmetteurs, récepteurs et communication intercellulaires.*
4. *Muscles, mouvements et motricité.*

IV.2. Texte du savoir neurotransmission de S4 dans le polycopié 2015-2016

Pour l'analyse du texte de savoir neurotransmission de S4, nous avons donné un soin particulier aux définitions du concept de la neurotransmission et ses concepts organisateurs (neurone, synapse et neurotransmetteur), aux démarches d'introduction de la séquence d'enseignement et aux défilements des connaissances.

L'analyse approfondie de ce polycopié nous a montré que comme tout objet d'enseignement, le texte du savoir « neurotransmission » suit un ordre logique et linéaire. Il a une entrée en matière, un corps de discours et une fin. En effet, nous avons constaté une similitude de ce polycopié avec les ouvrages récents analysés (E, F et H). L'enseignant a adopté une approche synthétique pour exposer le concept de la neurotransmission ainsi que ses concepts organisateurs. Mais, en général le cours magistral est présenté selon le modèle pédagogique traditionnel où l'enseignant est le seul détenteur du savoir et c'est lui qui doit transmettre l'information et les étudiants la reçoivent sans intervenir dans le processus d'apprentissage.

L'ordre de défilement des connaissances de ce contenu dans sa globalité est le même des ouvrages récents analysés (E, F et H).

IV.3. Texte du savoir neurotransmission de S4 dans le polycopié 2016-2017

L'analyse du cours montre qu'il n'y a pas de changement concernant les définitions des concepts ainsi que ce polycopié suit l'ordre de défilement des connaissances des ouvrages récents analysés (E, F et H). Dans ce cours, l'enseignant a adopté une nouvelle démarche pédagogique interactive qui préconise un déplacement du focus mis sur l'enseignant et ce qu'il enseigne vers l'étudiant et ce qu'il apprend en adoptant un discours simple et facile approprié au niveau cognitif de l'étudiant. Cette démarche pédagogique sera bien détaillée dans le chapitre VII.

Aussi, les concepts sont définis selon une approche synthétique sans pour autant négliger les explications essentielles pour bien définir et déterminer les notions. L'enseignant insiste sur la mise en évidence du lien entre ce qui enseigne dans l'amphithéâtre et le milieu social de l'étudiant. La présentation du cours est enrichie par des représentations iconiques qui facilitent la mémorisation des concepts par les étudiants.

Conclusion

De l'analyse de l'ensemble des ouvrages de référence, il ressort que le savoir savant de la neurotransmission qui est reconnu par la communauté scientifique, a subi des transformations et des changements au cours des années pour être recontextualisé dans une transposition didactique appropriée à son enseignement à l'université. En effet, les ouvrages anciens de la collection consultée (A; B et C) ont une similitude dans le discours utilisé qui est purement théorique ainsi les trois ouvrages se basaient sur une démarche historique qui fait apparaitre l'influence de l'histoire du concept de la neurotransmission sur ces auteurs. Par contre les ouvrages récents (D, E, F, G et H) ont adopté une démarche pédagogique en se basant sur des approches synthétiques et expérimentales pour exposer le concept de la neurotransmission et ses concepts organisateurs afin qu'il soit adapté au niveau cognitif des étudiants à l'université. La lecture approfondie de l'ensemble des ouvrages collectés, a permis de repérer le caractère évolutif du concept de la neurotransmission en passant d'une théorie de neurotransmission où les notions ont été des hypothèses et des théories dans les ouvrages (A, B et C) pour

arriver à la maturité et la validation de ces notions et concepts dans les ouvrages (D, E, F, G et H) dues au perfectionnement des techniques et de l'instrumentation utilisés dans chaque période.

L'analyse des ouvrages que nous avons effectuée nous a montré une évolution de la séquence d'enseignement de la neurotransmission. En fait, la démarche historique qui inspire les ouvrages anciens peut nous éloigner d'un véritable esprit scientifique sur l'origine du concept de la neurotransmission. Cependant, la démarche trop synthétique adoptée par les ouvrages récents risque de minimiser l'importance de ce contenu dans les enseignements à l'université.

Aussi, cette analyse nous a montré une similitude entre ces ouvrages par le biais de leur focalisation sur le modèle électrique à savoir la naissance et la propagation de l'information nerveuse au détriment de la transmission synaptique de nature chimique. Cette nature électrique du message nerveux occupe une place important dans le récit de tous les ouvrages.

L'analyse du contenu d'enseignement effectué dans la filière des Sciences de la Vie au sein de la faculté des Sciences Dhar El Mahraz, a montré que les deux polycopiés convergent vers une approche synthétique du concept de la neurotransmission et ses concepts associés. Le contenu des deux dispositifs s'aligne sur les ouvrages de référence récents édités après 1990, notamment les ouvrages de référence E, F et H.

Chapitre VI : Obstacles et difficultés de l'apprentissage de la Neurotransmission

Comme il a été précisé tout le long de ce manuscrit, proposer des modalités d'enseignement susceptibles de favoriser un apprentissage efficace est tributaire de la connaissance des obstacles et difficultés ressentis par les apprenants.

Ce chapitre sera structuré en deux parties :

- Première Expérimentation:s'articulant autour des problèmes d'apprentissage des sciences de la vie et plus particulièrement les problèmes induits par la langue d'enseignement qui est la langue française.
- Deuxième Expérimentation: portant sur les conceptions des étudiants du premier cycle universitaire sur la neurotransmission.

Première expérimentation: Aperçu sur l'impact de la langue française sur les apprentissages des étudiants de la filière des Sciences de la Vie (SVI)

Introduction

Depuis l'arabisation des matières scientifiques au niveau de l'enseignement secondaire, plusieurs mesures ont été prises pour renforcer les compétences en langue française qui est la langue d'enseignement principale dans les formations à caractère scientifique. En effet, depuis la réforme de 2003, les langues devenaient une composante incontournable dans les établissements scientifiques et avec la mise en place du plan d'urgence de 2009-2012, l'enseignement du français à l'université a pris une nouvelle tournure. C'est ainsi que la commission des langues au Maroc a été chargée, dans le cadre du dispositif intégré de l'enseignement des langues d'élaborer une ingénierie pédagogique pour la mise en place d'un module transversal à l'université. Donc, en plus des matières de spécialités, les étudiants en sciences suivent des modules dits modules de Langue et Terminologie.

Cependant, le premier constat était: contrairement à nos attentes, les ressources bibliographiques sur l'enseignement du français scientifique à l'université marocaine ne sont pas nombreuses. Nous pouvons, par exemple citer le travail de thèse de Haidar (2012). Ce chercheur a pointé la fracture linguistique que connaissent les étudiants en première année inscrits dans la filière Sciences de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers. Il a précisé que les étudiants nouvellement inscrits à l'université avaient beaucoup de mal à comprendre le discours complexe des cours magistraux. En fait ce travail porte sur les aspects de la technolecte (langue française spécialisée), sur le discours des cours magistraux et sur la relation qui pourrait subsister entre les cours de langue dispensés à l'université et les spécificités du technolecte de la biologie et de la géologie.

Une autre recherche menée par Chakib et al (2013) dont l'objectif est de mettre en évidence l'impact des difficultés linguistiques sur l'enseignement-apprentissage au niveau de la filière Sciences de la Vie, de la Terre et l'Univers « SVTU » de la Faculté des Sciences Ben M'Sik (Casablanca, Maroc) et d'autre part, de proposer des solutions alternatives pour pallier ces difficultés.

Dans un contexte d'arabisation, touchant l'enseignement secondaire (collège et lycée) marocain et le maintien du français dans l'enseignement supérieur, l'étudiant se trouve en rupture avec deux systèmes linguistiques différents. Un paradoxe et une discontinuité avec des répercussions considérables sur les performances langagières nécessaires auxapprentissages du savoir scientifique (Madrane et al., 2009). Ce constat était à l'origine de

ce travail dont nous visons approcher l'impact potentiel de la langue française sur l'enseignement/Apprentissage d'un contenu spécifique à savoir la neurotransmission.

I. Plan d'expérimentation

Avant de commencer le recueil de données sur le concept principal de la recherche, il nous a paru utile de réaliser cette étude exploratoire sur les problèmes des étudiants en SVI et plus particulièrement sur l'impact de la langue dans la compréhension ou l'incompréhension des cours dans ce champ disciplinaire. En fait, ce choix a été motivé par le constat des rapports formels et informels des enseignants universitaires déplorant le niveau de langue française de leurs étudiants.

Ce choix a également été corroboré par les données recueillies à l'issu d'un sondage informel au sein de la communauté estudiantine. En fait, à la marge d'un cours magistral, nous avons demandé à un groupe de plus de 60 étudiants de nous lister (oralement) leurs problèmes. L'opération s'est déroulée dans un amphi. Les problèmes cités le plus avaient un lien direct avec la langue d'enseignement.

En se basant sur les données recueillies auprès des enseignants et étudiants, nous avons pu élaborer notre questionnaire (Annexe 1) qui se composait de 9 questions dont certaines étaient des questions fermées et d'autres des questions à choix multiples (QCM) demandant aux étudiants de donner leur représentations sur l'utilité et l'apport de la langue française dans leur apprentissage à l'université et aussi donner la nature des difficultés et obstacles rencontrées par ces étudiants lors des apprentissages des concepts biologiques à l'université.

Le questionnaire (Annexe 1) a été administré auprès de 100 étudiants de la filière Sciences de la Vie (SVI) au sein de la Faculté des Sciences Dhar El Mahraz. Lors de sa passation, on a précisé aux étudiants interrogés qu'il est anonyme et qu'il rentre dans le cadre des travaux de thèse et donc il n'a aucun rapport avec les examens et les évaluations.

II. Résultats

Les résultats obtenus sont représentés dans les histogrammes ci-dessous.

- **Q1. Donnez votre avis sur la langue française**

Par cette question (Q1), nous visons mettre en évidence les représentations des étudiants sur la langue française (Fig. 1). Pour 65% des étudiants interrogés, la langue française est une

langue de la recherche scientifique (a), 22% des étudiants disent qu'elle est dépassée par l'anglais (b). Pour 8% des étudiants enquêtés, le français est une langue difficile (c) alors que pour le reste des étudiants (5%), la langue français est tout cela, ils ont opté pour toutes les modalités: le français est une langue de recherche (a), dépassée par l'anglais (b) et aussi difficile à comprendre (c). (Fig. 1).

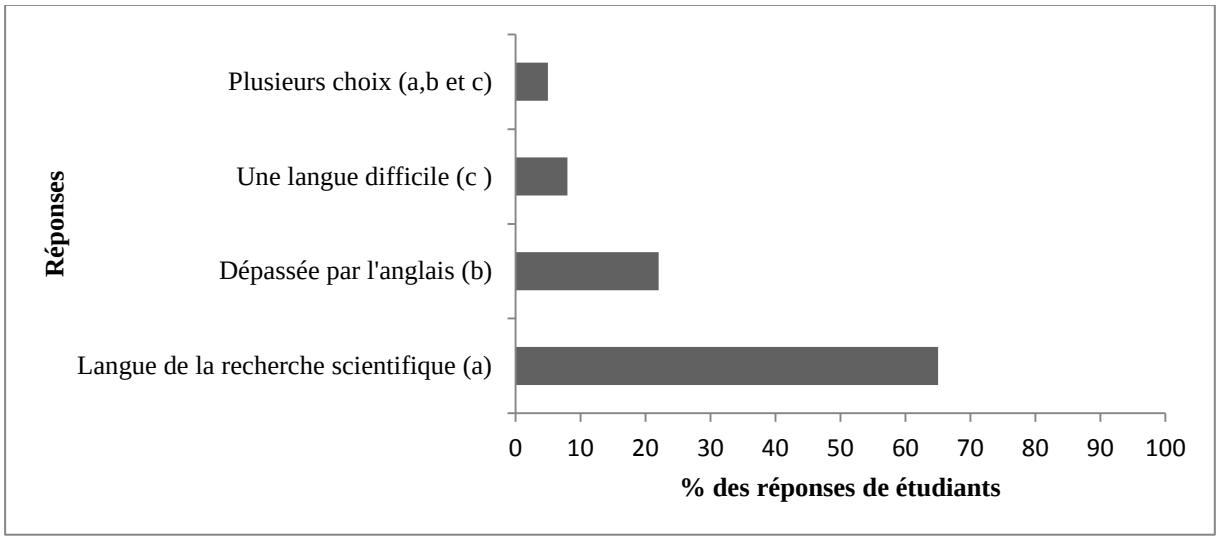


Figure 1: Avis des étudiants concernant la langue française.

- **Q2. Est-ce que vous êtes conscient(e)s de l'utilité de la langue française dans votre cursus universitaire?**

Dans la deuxième question (Q2), on a voulu savoir si les étudiants sont conscients de l'utilité de la langue française dans leurs études universitaires. Les réponses données (Fig. 2), nous permettent de dire qu'à priori environ les deux tiers des étudiants (65%) sont conscients de l'utilité de cette langue pour leurs études, 22% des étudiants ne le sont pas alors que le reste des étudiants 13% a opté pour la modalité « je ne sais pas ». (Fig. 2)

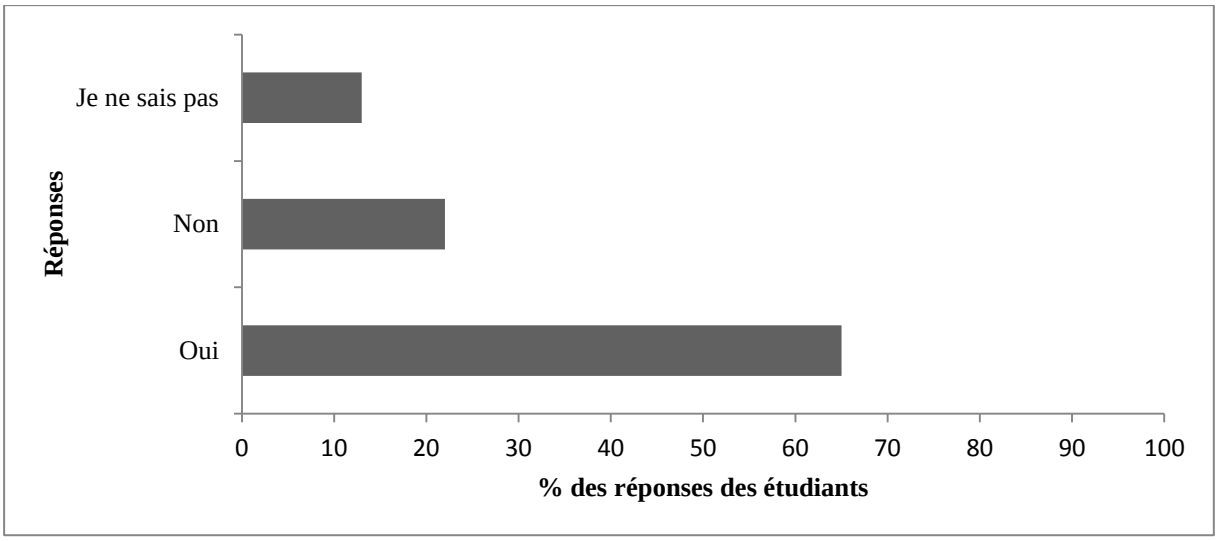


Figure 2: L'utilité de la langue française dans les études universitaires.

- **Q3.Comment vous trouvez les cours de la Langue et Terminologie à la Faculté des Sciences?**

Pour la question 3 (Q3), nous avons demandé aux étudiants de donner leurs représentations sur les cours de la Langue et Terminologie enseigné à l'université. D'après les résultats obtenus, on voit que 70% des étudiants affirment que les cours de langue et Terminologie sont inutiles, contrairement à 18% des étudiants enquêtés qui affirment que ces cours sont utiles. Il faut noter que seuls 10% des étudiants disent que ces cours de langue sont très utiles pour eux (Fig. 3).

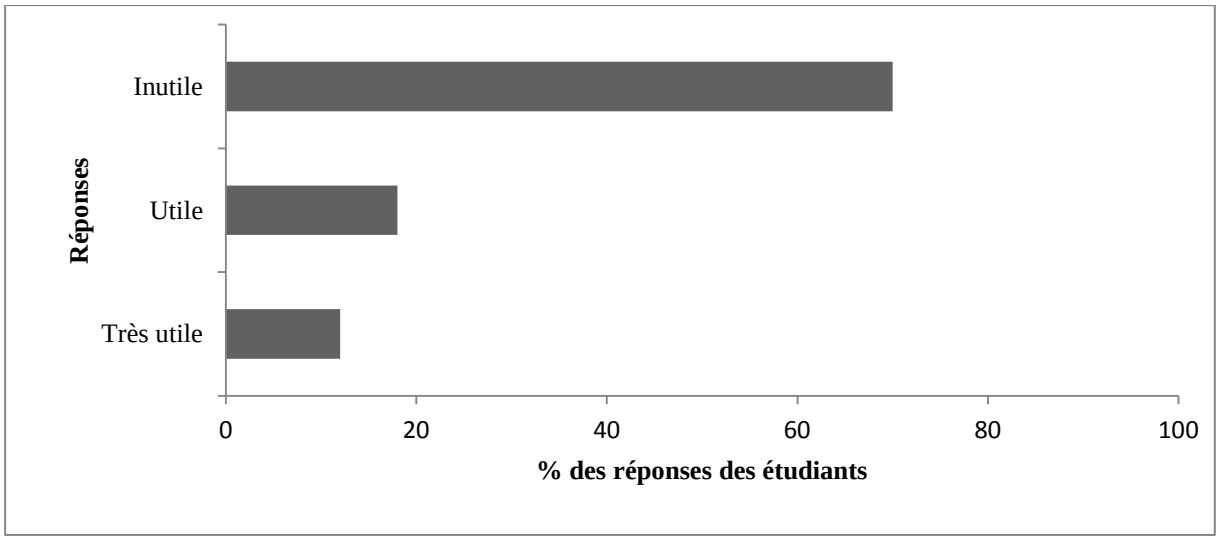


Figure 3: L'apport des cours de Langue et Terminologie dans les études universitaires.

- **Q4. Que pensez-vous du temps alloué à l'enseignement du module de Langue et Terminologie?**

Si on considère les réponses pour la question 4 (Q4) qui consistait à déterminer si le temps alloué à l'enseignement du module de Langue et Terminologie est suffisant ou insuffisant (Fig. 4). On constate que 62% des étudiants affirment que l'horaire programmé pour les cours de la langue française est insuffisant. A l'opposé 24% des étudiants interrogés affirment que ce temps est suffisant alors que 14% des étudiants ont opté pour la modalité « je ne sais pas ». (Fig. 4)

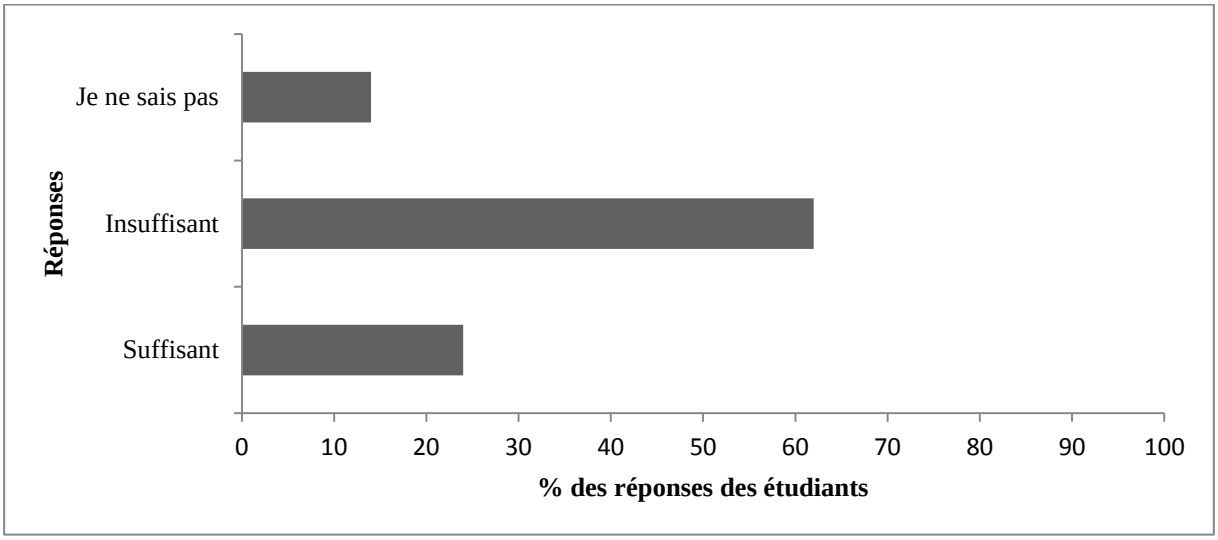


Figure 4: Le temps alloué à l'enseignement des cours de Langue et Terminologie à l'université.

- **Q5. Est-ce que vous assistez aux cours de Langue et Terminologie?**

Partant de l'hypothèse que le taux de présence des étudiants à ces cours reflète leur motivation et intérêt pour ce module, nous avons formulé la question 5. Selon les données de l'histogramme 5, seul 35% des étudiants assistent régulièrement, 56% des étudiants déclarent assister parfois à ces cours et 9% des étudiants à priori n'assistent jamais à ces cours (Fig. 5).

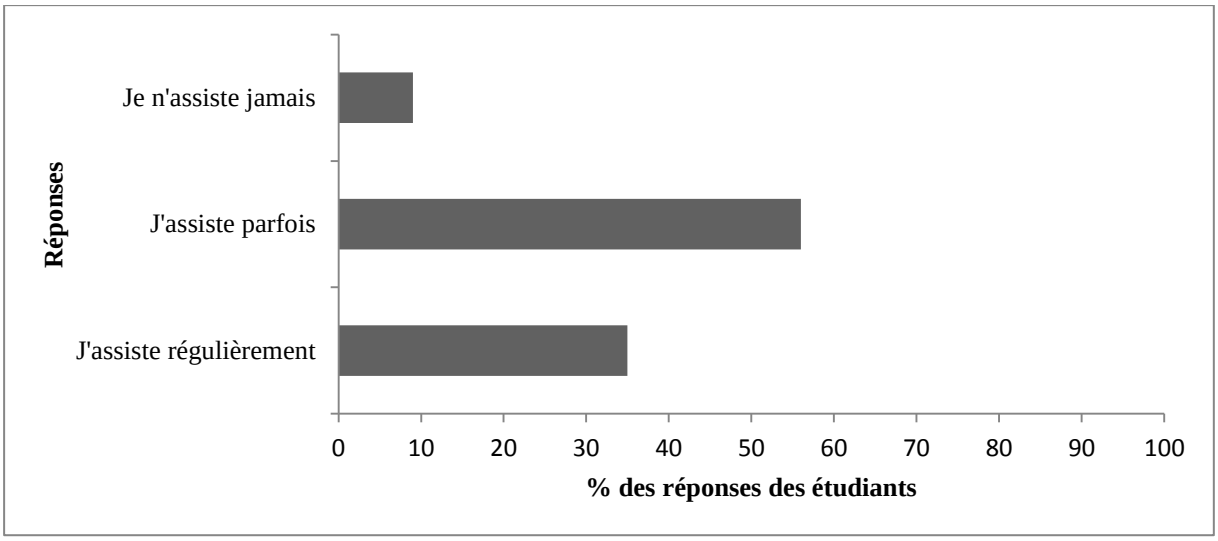


Figure 5: Le taux de présence ou d'absentéisme aux cours de Langue et Terminologie.

- **Q6. Avez-vous des problèmes en langue française?**

Dans la question 6 (Q6), nous avons demandé aux étudiants s'ils ont des problèmes en langue française. Les résultats obtenus stipulent que la majorité des étudiants (82%) a un ensemble de lacunes et de problèmes liés à la langue française (Fig. 6).

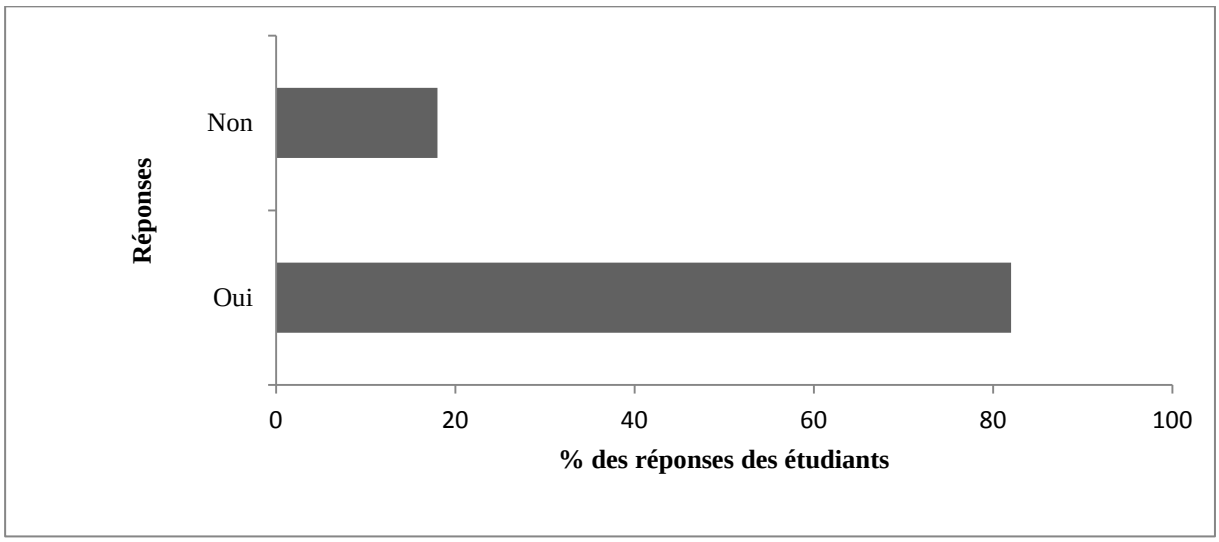


Figure 6: La présence ou non des problèmes liés à la langue française.

- **Q7. Quels sont ces problèmes?**

Pour avoir une idée plus précise sur la nature des problèmes, nous avons formulé la question 7 (Q7). En fait, l'objectif était de voir où les étudiants éprouvent des difficultés liées à la maitrise de la langue (Fig. 7); est ce dans la compréhension des cours magistraux (a), des Travaux Dirigés (TD) ou des Travaux Pratiques(TP) (b), dans la communication et expression (c) et enfin dans le vocabulaire et la terminologie utilisée (d).

D’après les réponses données, on constate qu’environ la moitié des étudiants (46%) ont coché toutes les modalités de réponses donc ces étudiants avouent qu’ils ont des problèmes dans la compréhension des cours, TD, TP , communication et expression ainsi que des problèmes de la terminologie utilisée. Les pourcentages des étudiants qui ont limité leur choix à une seule option sont très faibles. Ainsi, par exemple seul 10 %des étudiants affirment qu’ils ont des problèmes dans la compréhension des cours magistraux (a), 8% des étudiants disent qu’ils ont des difficultés dans les travaux dirigés et travaux pratiques (b), 19 % des enquêtés ont des problèmes liés à la communication et d’expression (c) et 17% des étudiants ont des problèmes de vocabulaire utilisé dans l’enseignement des concepts scientifiques (d). (Fig. 7).

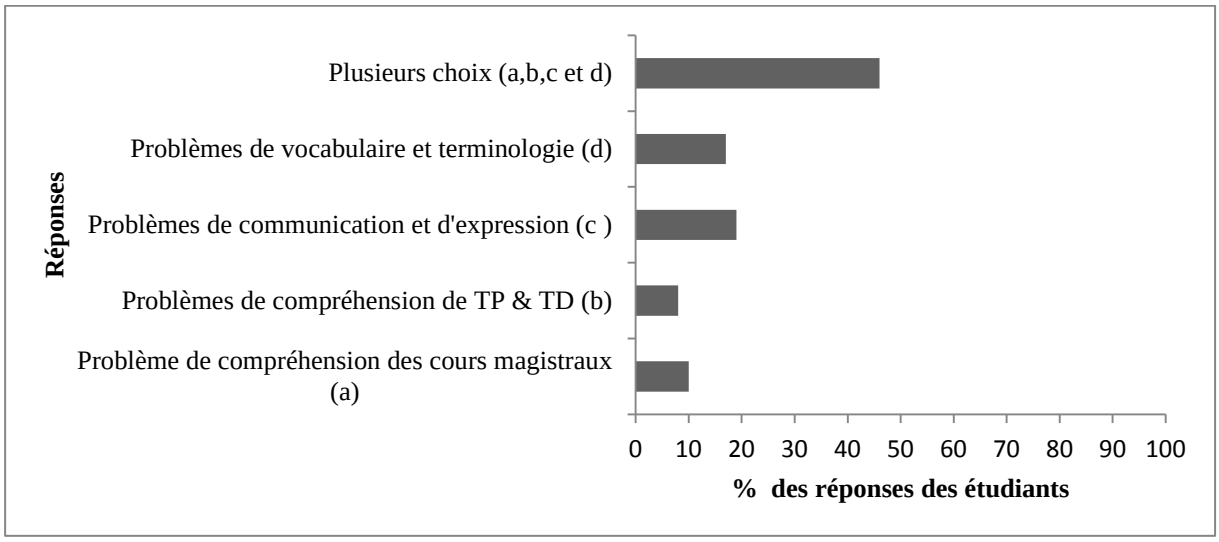


Figure 7: La nature des problèmes des étudiants en langue française.

- **Q8. Est-ce que vous arrivez à comprendre le cours de la biologie?**

Concernant la question 8 (Q8) qu’on a posé aux étudiants afin de déterminer à quel point ils arrivent à comprendre les cours de la biologie (Fig. 8). Les réponses données montrent qu’à priori 69% de la population interrogée estime comprendre relativement les cours de la biologie, 13% des étudiants sujet de l’enquête avouent ne pas comprendre le cours de biologie. Il faut noter que seul 18% des étudiants interrogés confirment comprendre entièrement le cours (Fig. 8).

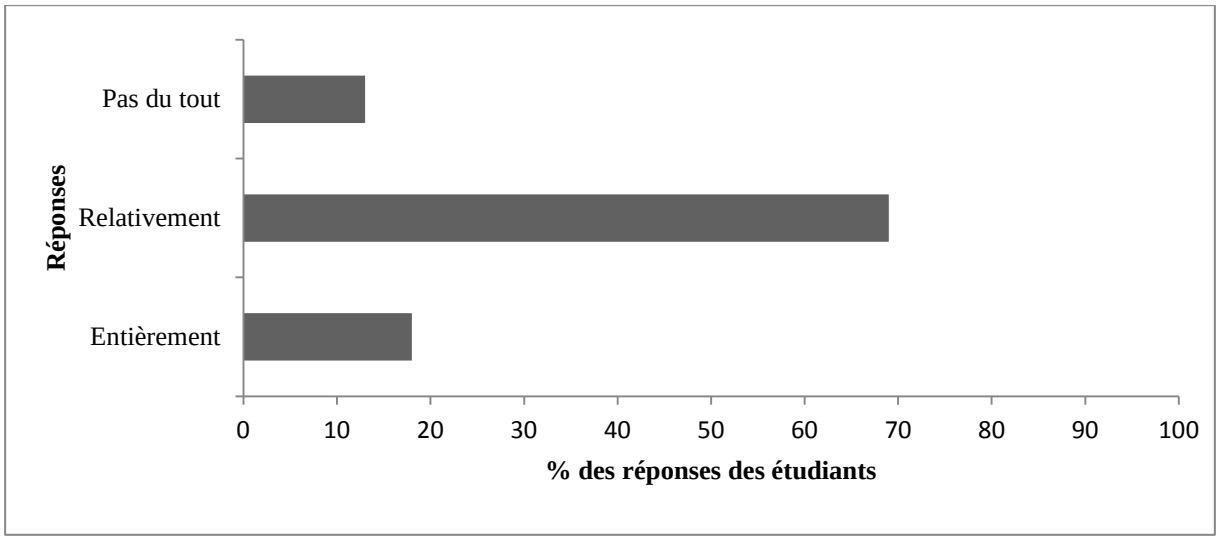


Figure8: Le niveau de compréhension des cours de biologie.

- **Q9. Si vous répondez par « Relativement » ou «Pas du tout », Dites pourquoi?**

Pour affiner nos questions, nous avons demandé aux étudiants ayant répondu par « relativement » ou « pas du tout » de préciser la nature de leurs difficultés (Fig. 9). Pour cela, nous avons formulé la question (Q9) qu'on décline en 4 items explicitant les causes d'incompréhension: des concepts scientifiques enseignés (a), le vocabulaire utilisé par l'enseignant (b), le type de discours utilisé (c), le temps alloué à l'enseignement des concepts biologiques (d).

Les données de l'histogramme ci-dessous (Fig. 9), 45% des étudiants affirment que la non compréhension des cours de biologie est due à la fois à toute les propositions formulées ci-dessus donc à la proposition a, b, c et d. Pour 22% des étudiants les problèmes sont liés aux difficultés des concepts enseignés (a), 5% desétudiants incriminentle vocabulaire utilisé parl'enseignant (b), 7% des étudiants disent qu'ils ont des difficultés liées au discours utilisé par l'enseignant (c) et pour 22% des étudiants restants affirment que c'est dû au temps accordé à l'enseignement des concepts biologiques (d) (Fig. 9).

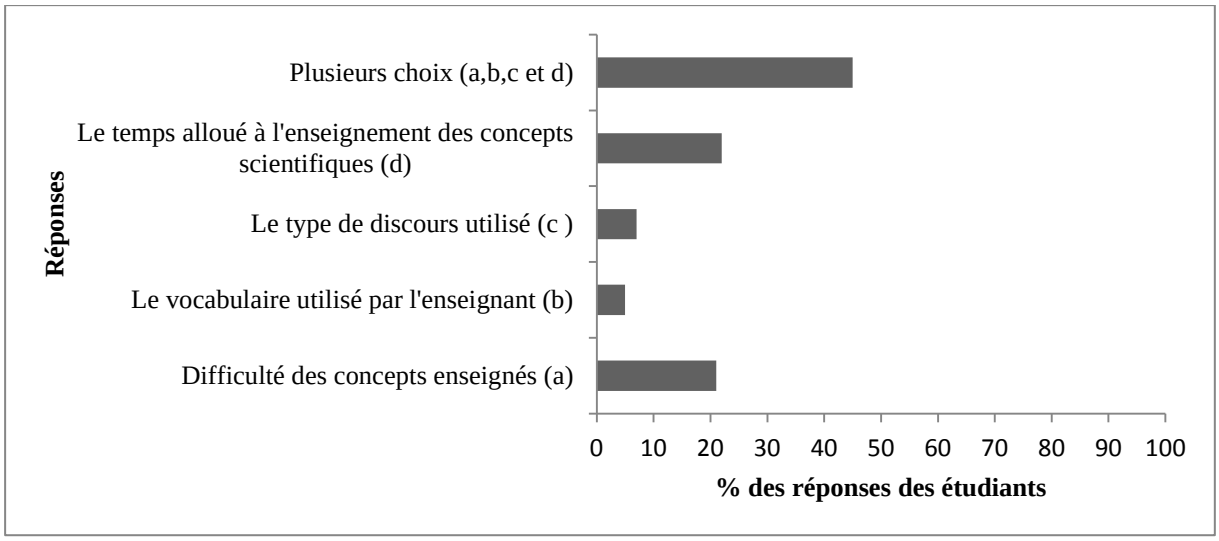


Figure 9: La nature des difficultés entravant la compréhension des cours de biologie.

III. Discussion

L'analyse des réponses des étudiants aux questions (Q1) et (Q2) portant sur les représentations des étudiants concernant la langue françaiseet son utilité dans leurs cursus universitaire, nous a montré que la majorité des étudiants, dans les deux questions, a affirmé que le français est une langue de recherche scientifique et qu'ils sont conscients de l'utilité de cette langue dans leurs études universitaires. Ce constat est conforme avec l'étude menée par Haidar (2012) qui a montré que les étudiants des filières scientifiques STU et SVI sont conscients de l'utilité de la langue française dans leur apprentissage des contenus scientifiques. Normalement cette prise de conscience de l'utilité de la langue pour les études devait être un stimulant pour un engagement dans les apprentissages mais les données des questions suivantes laissent comprendre le contraire. En effet, Les pourcentages des réponses obtenues dans lesquestions (Q3), (Q4) et (Q5), ont montré que les étudiants semblent ne pas être satisfaits du module de la Langue et Terminologie à l'université, puisque plus de la moitié d'entre eux affirme que ces cours sont d'aucune utilité (Q3). L'insatisfaction se manifeste aussi par les pourcentages des réponses à la question (Q4) stipulant que le temps accordé à l'enseignement de ces cours est insuffisant et la question (Q5) mettant en évidence un taux élevé d'absentéisme corrobore l'idée de l'inutilité des cours de Langue et Terminologie. Le fait que la majorité des étudiants n'assistent que parfois à ces cours, révèle leur démotivation envers ces cours. Il faut noter que, ces résultats mettent en évidence à priori que ces cours de Langue et Terminologie ne répondent pas aux besoins et attentes des étudiants puisque ces derniers estiment qu'ils sont insuffisants et inutiles. Enfin, ce constat est confirmé par une étude menée par Ghoumidi (2012) dans une autre université marocaine et

qui a révélé également que les étudiants trouvent les cours de la Langue et Communication sont ressentis comme inutiles.

Les résultats issus des questions (Q6) et (Q7) mettent en évidence que les étudiants affirment avoir un ensemble de problèmes et de difficultés liés à la langue française à savoir: difficulté des concepts scientifiques enseignés, le vocabulaire utilisé par l'enseignant, le type de discours utilisé et le temps alloué à l'enseignement des concepts biologiques. Le même constat est confirmé dans les deux dernières questions (Q8) et (Q9). En effet, même si ces dernières questions sont relatives aux problèmes de la biologie d'une manière globale les étudiants expriment clairement leurs difficultés par rapport à la langue et son impact par rapport à leur compréhension des concepts scientifiques.

Ces résultats sont conformes avec des données de la littérature (Chakib et al., 2013;Haidar, 2012) qui ont montré que la langue française semble être un obstacle qui peut entraver l'appropriation et l'assimilation des concepts scientifiques par les étudiants à l'université.

Conclusion

La première conclusion que nous avons tirée de ce questionnaire est que les étudiants sont bien conscients de l'importance du français dans leurs études universitaires, cependant la plupart sont démunis face à cela. En effet, la majorité des étudiants semblent n'avoir ni les bases ni les outils pour comprendre les cours ou pouvoir communiquer dans un milieu scientifique particulièrement exigeant. Le second constat issu de cette étude est que les étudiants estiment qu'à priori, les cours de Langue et de Terminologie sont insuffisants et ne sont pas appropriés à leurs besoins et à leurs attentes afin de comprendre les disciplines scientifiques enseignées à l'université.

L'ensemble des difficultés et problèmes repérées liées à la langue française dans cette étude exploratoire peuvent entraver l'apprentissage des contenus scientifiques par les étudiants de SVI à savoir la neurotransmission.

Deuxième expérimentation: Etude des conceptions des étudiants du premier cycle universitaire sur la neurotransmission

Introduction

Dans une démarche constructiviste, l'analyse des conceptions des apprenants est essentielle pour délimiter les facteurs influençant la réussite d'un apprentissage. En effet, comme il a déjà été mentionné, il est couramment admis que tout apprentissage viendrait interférer chez l'apprenant avec un déjà-là conceptuel. Ce déjà la dit également: conceptions, constitue un système d'explication permettant à l'apprenant d'interpréter les différentes situations scientifiques rencontrées. Cela est à l'origine de cette expérimentation dont l'objectif est la mise en évidence des difficultés et obstacles potentielles susceptibles d'entraver l'évolution desconceptions des étudiants vers un apprentissage effectif de la neurotransmission. Ainsi, nous avons essayé de répondre à la question stipulant que les étudiants entamant le cycle universitaire disposent-ils des connaissances basiques sur la neurotransmission et voir si à la fin du cours il va y avoir un changement conceptuel chez ces étudiants?

I. Plan d'expérimentation

Pour mettre à l'épreuve notre question de recherche citée ci-dessus, nous avons réalisé notre expérimentation selon deux étapes. Rappelons que ces étapes sont décrites dans le chapitre III consacré à la méthodologie générale du travail.

En effet, dans un premier temps, on s'est appuyé sur le programme et les supports du cours rédigés par les enseignants de la matière afin de voir comment le concept est défini et présenté. Dans un second temps, on a analysé le contenu relatif à cette notion à savoir la neurotransmission dans le programme du secondaire (Lycée), dans le but d'avoir un aperçu sur le profil conceptuel "attendu" et sur les pré-requis estimés chez les étudiants entamant le cursus universitaire. Ainsi, en plus des fiches de programme, le regard est porté sur le manuel scolaire utilisé en classe de première année du Baccalauréat Sciences de la Vie et de la Terre. Cet examen a permis de relever les concepts de base étudiés à ce niveau, tels que la nature du message nerveux, le neurone, la synapse, le neurotransmetteur.

Ces deux investigations ont permis de mettre en évidence les définitions des concepts basiques de la neurotransmission (Tableau 9). Il faut noter que les manuels de secondaire consultés sont en arabe et donc les définitions données sont les traductions correspondantes.

Tableau 9: Définitions des concepts basiques de la neurotransmission

Concept	Définition dans le Manuel scolaire de la première année du Baccalauréat (SVI)	Définition dans le support de cours universitaire
Neurone	• Composé d'un corps cellulaire et deux types de prolongements sous forme de fibres nerveuses qui reçoivent les messages nerveux et un axone qui conduit ce message tout au long du neurone. • Il reçoit et transmet les messages nerveux.	• Unité structurale et fonctionnelle du système nerveux, le neurone se présente comme une cellule hautement différenciée. • Anatomiquement le neurone est constitué d'un corps cellulaire(le soma ou périkaryon, de deux types prolongements: les dendrites, souvent nombreuses et l'axone, toujours unique. Les axones constituent les fibres nerveuses • C'est une cellule excitable, sa membrane lui permet d'émettre et de conduire le potentiel d'action.
Synapse	• Une zone de contact qui assure la transmission du message nerveux d'un neurone à l'autre ou d'un neurone à une cellule cible. • Composée d'une zone présynaptique séparée de la cellule postsynaptique par une fente synaptique.	• Proposé par **Sherrington (1897)**, Le terme de synapse désignait au départ les zones de contact entre neurones, spécialisées dans la transmission de l'information. • Il s'agit de synapses inter-neuronales. • Une synapse est une zone de contact entre neurones, elle assure la transmission de l'information d'une cellule à une autre. • La synapse chimique est caractérisée par la présence d'un espace entre la membrane présynaptique et la membrane postsynaptique : la fente synaptique.
Neurotransmetteur	• Une substance chimique qui assure la transmission du message nerveux au niveau de la synapse. • Il existe différents neurotransmetteurs : Acétylcholine, GABA, Sérotonine,…	• Un neurotransmetteur est une Substance chimique naturelle, Synthétisée par le neurone pré-synaptique, Libérée lors d'une stimulation pré-synaptique, dans la fente synaptique, Se fixe sur un récepteur spécifique situé sur la membrane post-synaptique, rapidement dégradée par des enzymes localisées au niveau post-synaptique. Son application dans le milieu a les mêmes effets post-synaptiques qu'une stimulation pré-synaptique. • Près de 100 substances pourraient être des neurotransmetteurs on distingue, les **Amines biogènes, Acétylcholine**, Et les autres amines: noradrénaline, dopamine, sérotonine, histamine, les **Acides aminés** GABA (Acide gama-amino-buturique), glutamate et les **Peptides,** Endorphine, enképhaline, substance P.

Transmission synaptique ou Neurotransmission	• Elle désigne le passage d'un influx nerveux à travers une synapse grâce à la libération d'un neurotransmetteur stocké dans des vésicules pré-synaptiques, libéré par la surface pré-synaptique dans la fente synaptique et sa fixation par les récepteurs spécifiques présents sur la surface post-synaptique.	• **Neurotransmission chimique** 1- Arrivée du potentiel d'action dans l'élément présynaptique entraine l'Ouverture des canaux de Ca^{2+} .voltages dépendants. 2- Libération du neurotransmetteur par exocytose dans la fente synaptique. 3- Le neurotransmetteur se lie aux récepteurs postsynaptiques. 4- Les canaux ioniques de la membrane postsynaptique s'ouvrent, ce qui modifie le potentiel de la membrane. 5- Elimination du neurotransmetteur soit par : Dégradation enzymatique ou par Recaptationpar l'élément présynaptiqueou par diffusion hors de la synapse.

La lecture approfondie des deux supports pédagogiques utilisés dans l'enseignement de la neurotransmission, nous a montré que dans:

- Les programmes marocains, l'enseignement de la transmission synaptique au niveau du secondaire est précédé par l'étude de la naissance et propagation du message nerveux ou ce qu'on appelle: potentiel d'action. En effet, l'analyse du contenu du manuel scolaire de la première année du Baccalauréat Sciences de la Vie, nous a montré une focalisation sur la nature électrique du message nerveux. Cela est bien démontré par le fait qu'une grande partie du cours est consacrée à l'étude des mécanismes électriques de la naissance et propagation du message nerveux.
- Pour le cours traitant le concept de la neurotransmission à l'université, les connaissances et les définitions des concepts basiques de la neurotransmission sont plus approfondis et aussi sont exposées via une transposition pédagogique bien appropriée au niveau cognitif des étudiants. En effet, le cours est divisé en deux chapitres: Le premier chapitre est consacré à l'étude des cellules nerveuses (les cellules et le tissu nerveux, l'organisation anatomique et réseaux neuronaux et Neurotransmetteurs, récepteurs et communication intercellulaires). Le deuxième chapitre est consacré à l'étude des cellules musculaires.

Sur la base de ces investigations dans les contenus d'enseignement destinés aux élèves (niveau secondaire) et aux étudiants (université), nous avons élaboré l'outil de diagnostic qui est un questionnaire s'articulant autour des notions fondamentales basiques de la neurotransmission et donc autour des connaissances que doit posséder un individu de formation biologiste.

I.1. Description du questionnaire

Afin de mieux cerner les conceptions des étudiants interrogés, nous avons diversifié le type de questions: Six questions fermées (Q1, Q2, Q3, Q4, Q5 et Q7) sous forme de questions à choix multiple (QCM), deux questions dont les étudiants interrogés doivent dessiner les schémas des deux concepts (synapse (Q6) et neurone (Q8)) et deux questions ouvertes (Q9 et Q10). (Voir Annexe 2)

Cette multiplicité de forme de question permet de vérifier l'implication des sujets questionnés et donc la validité du questionnaire et la cohérence des réponses.

I.2. Echantillonnage et conditions de la passation du questionnaire

La population de l'étude se composait de120 étudiants du semestre 4 (S4), deuxième année du cycle de la licence de la filière Sciences de la vie de la Faculté Sciences de Dhar El Mahraz pendant l'année universitaire 2015-2016.

Comme nous l'avons déjà dit, le questionnaire a été administré deux fois: en amont et en aval de l'enseignement de la neurotransmission. La première fois dans un amphithéâtre avant le début du cours et de tout apprentissage de la neurotransmission, il s'agit donc du pré-test.

Pour la même population, le post-test ou le questionnaire en aval a eu lieu également dans un amphithéâtre après un mois et demi de l'enseignement et apprentissage de la neurotransmission; c'est-à-dire lorsque le cours est terminé. Dans les deux cas les étudiants ont pris 30 à 45 mn pour renseigner tout le questionnaire.

Nous avons par ailleurs précisé aux étudiants que le questionnaire est anonyme et qu'il n'est pas noté afin d'éviter tout rapport avec les examens.

II. Résultats

Les résultats sont présentés ci-dessous. Afin de mettre en évidence l'évolution des conceptions des étudiants, les pourcentages des réponses issus du pré-test et post-test ont été rapportés dans le même histogramme.

- **Q1. La propagation de l'influx nerveux**

Dans le cas de la question 1 (Q1) s'articulant autour de la propagation de l'influx nerveux. Les données obtenues mettent en évidence qu'en amont de l'enseignement de la neurotransmission, 72% d'étudiants affirment que l'influx nerveux se propage d'une manière continue et 28% disent que l'influx nerveux se propage d'une manière discontinue (Fig. 10).

Une petite variation est notée dans les données obtenues en aval de la séquence pédagogique puisque 38% des étudiants enquêtés ont opté pour la proposition correcte stipulant que l'influx nerveux se propage d'une manière discontinue. A l'opposé de 62% des étudiants qui affirment que la propagation de l'influx nerveux se fait d'une manière continue. Cela montre que même après un enseignement approfondi à l'université, la majorité des étudiants s'accrochent à la représentation continue de l'influx nerveux (Fig. 10).

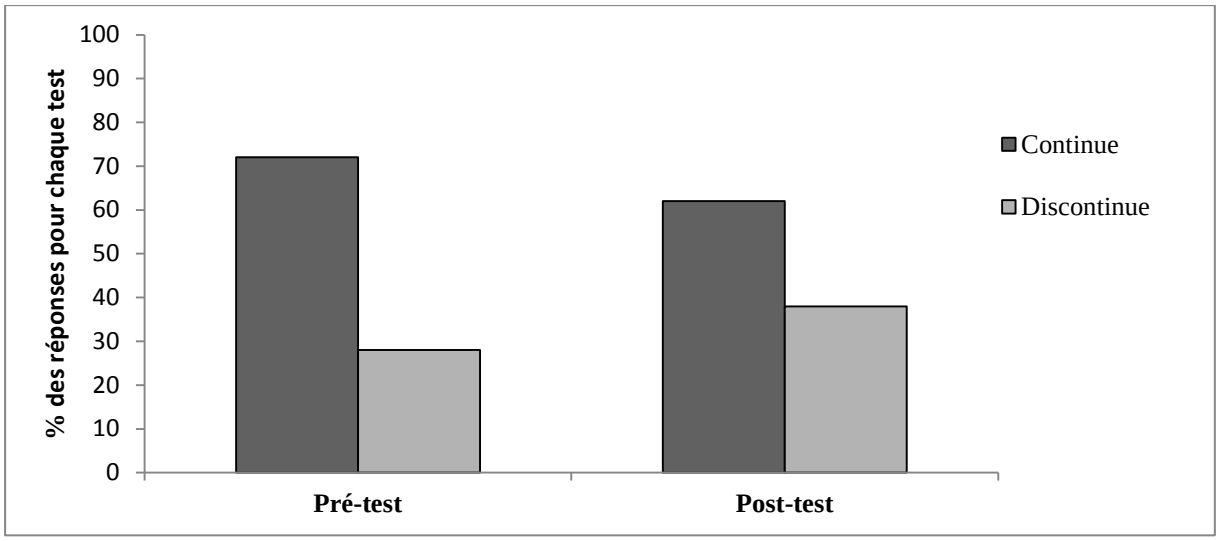


Figure 10: Pourcentages des réponses des étudiants concernant la propagation de l'influx nerveux.

- **Q2. La nature du message nerveux**

La deuxième question 2 (Q2) portait sur la nature du message nerveux (Fig. 11). Dans le Pré-test, on note que seuls 33% des étudiants sujets de l'enquête ont opté pour la proposition correcte stipulant que le message nerveux est de nature à la fois électrique et chimique. En revanche les deux tiers de la population interrogée (67%) ont choisi les réponses incorrectes dont 42% des étudiants pensent que le message nerveux est uniquement de nature électrique et 25% des étudiants révèlent que le message nerveux est de nature chimique.

Ce constat ne semble pas être amélioré après le cours sur la neurotransmission. En effet, 50% d'étudiants affirment que le message nerveux est de nature électrique et 23% des étudiants disent que le message nerveux est de nature chimique. Le pourcentage des étudiants qui à priori a bien compris la nature du message nerveux (nature chimique et électrique) se limite à 27% (Fig. 11).

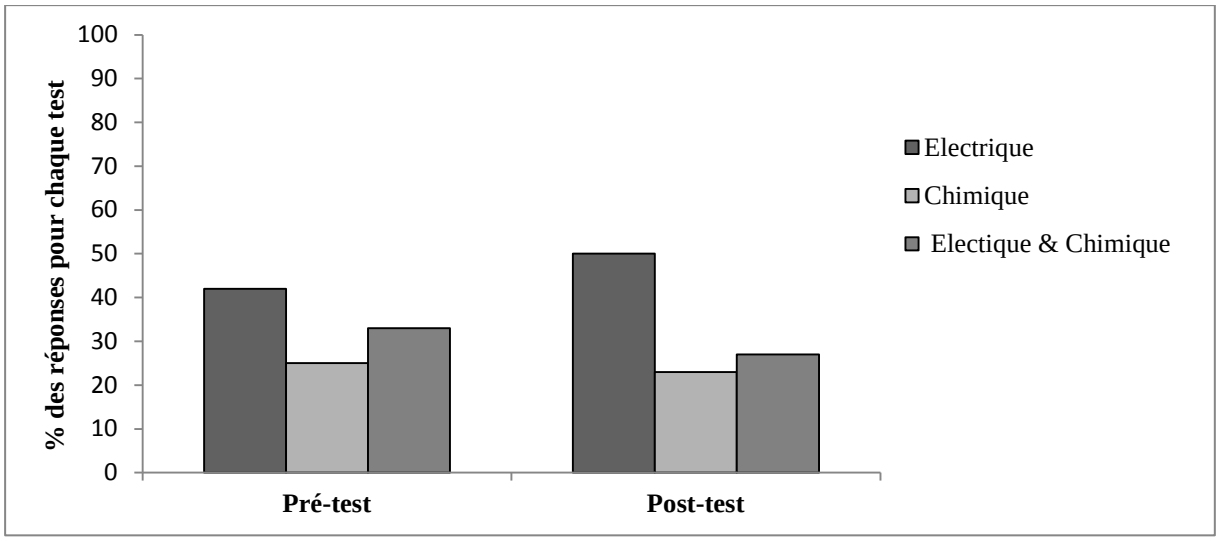


Figure 11: Pourcentages des réponses des étudiants sur la nature du message nerveux.

- **Q3. La structure responsable de la transmission de l'influx nerveux**

Pour la question 3 (Q3), la question était de déterminer la structure responsable de la transmission de l'influx nerveux (neurone, synapse ou axone). L'analyse des réponses des étudiants en amont de l'enseignement du concept de la neurotransmission, nous a montré que 76% des étudiants ont opté pour la proposition correcte à savoir que la synapse est la structure responsable de la transmission de l'influx nerveux. Quant aux 24% des étudiants restants, ils se sont partagés entre 12 % d'entre eux ont affirmé que la transmission se fait par le neurone et les autres 12% pensent qu'elle se fait part l'axone (Fig. 12).

Il faut noter qu'aucun changement n'a été noté dans les réponses des étudiants en aval de l'enseignement du concept de la neurotransmission puisque 74% des étudiants ont opté pour la proposition correcte et que le reste des étudiants (26%) a coché des réponses incorrectes (Fig. 12).

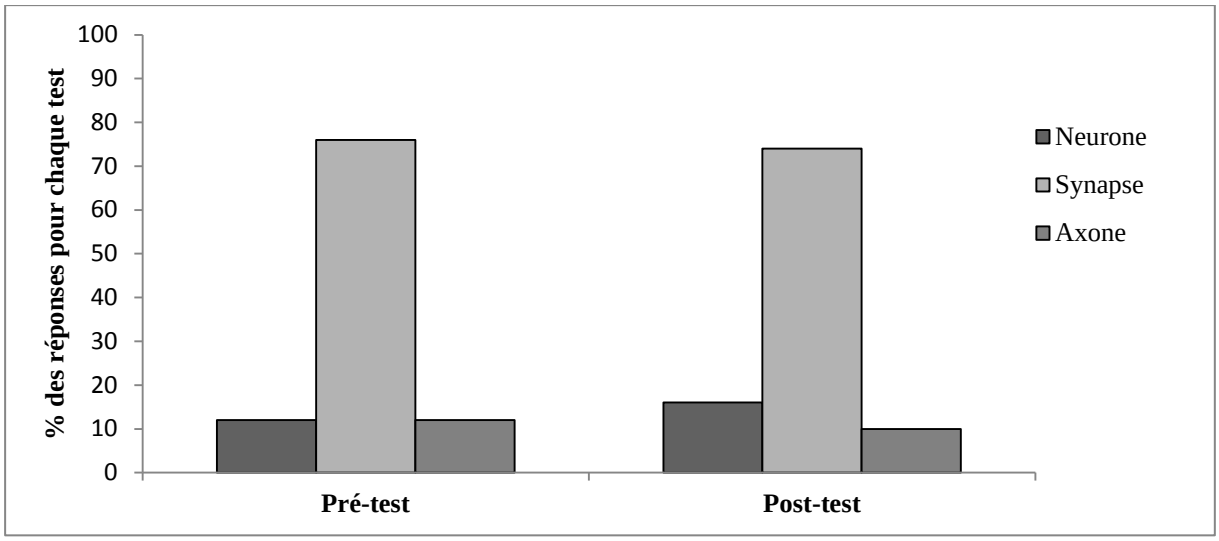


Figure 12: Pourcentages des réponses des étudiants à propos de la structure responsable de la transmission de l'influx nerveux.

- **Q4. La définition de la synapse**

Pour la question 4 (Q4) s'articulant autour de la définition de la synapse (Fig. 13). L'analyse des réponses des étudiants en amont de l'enseignement du concept de la neurotransmission montre que 52% des étudiants interrogés ont coché la définition correcte (a) à savoir que la synapse c'est la zone de contact spécialisée dans la transmission des messages nerveux, alors que 48% des étudiants ont coché des définitions incorrectes pour la synapse (formée par un élément pré-synaptique et un élément post-synaptique (b) ou désigne l'espace entre l'élément pré-synaptique et l'élément post-synaptique (c)). Les données obtenues en aval de cet enseignement enregistrent une légère augmentation dans les pourcentages des réponses incorrectes qui atteint 61% (Fig. 13). Il semble donc dans les deux tests, plus de la moitié des étudiants n'a pas pu reconnaitre la définition exacte de la synapse ce qui affirme que ce concept n'est pas assimilé par ces étudiants.

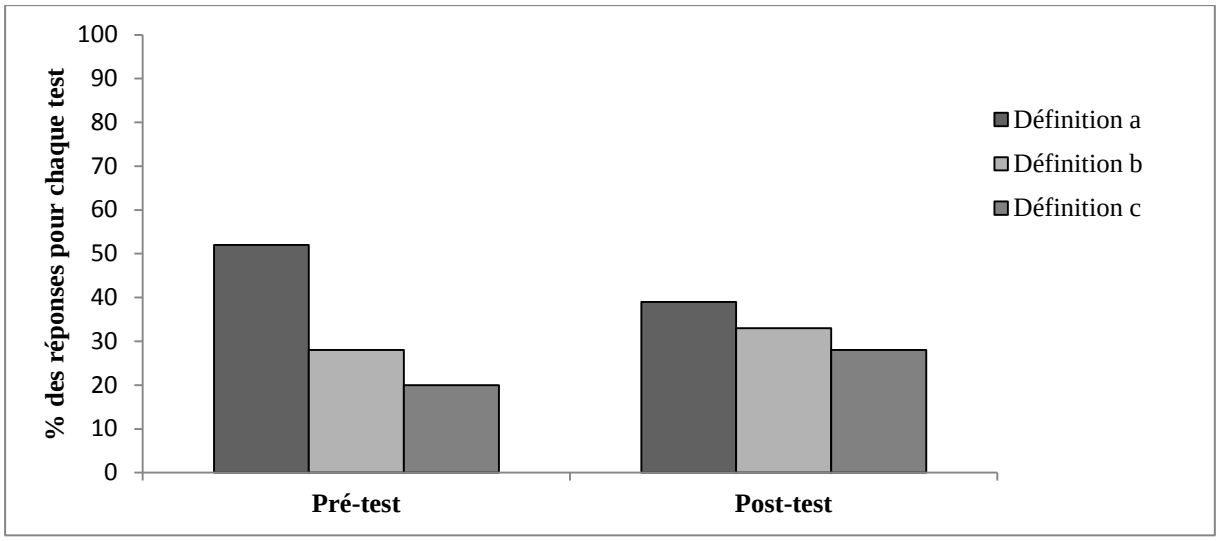


Figure 13: Pourcentages des réponses des étudiants concernant la définition de la synapse.

- **Q5. Le nombre de type fonctionnel de la synapse**

Dans la question 5 (Q5), concernant le nombre de type de la synapse. L'analyse des résultats obtenus en amont de l'enseignement du concept de la neurotransmission, nous a montré que 40% des étudiants interrogés ont répondu correctement à savoirqu'il y a deux types fonctionnels de synapse. A l'opposé on a 60% des étudiants ont coché des propositions incorrectes. Ces propositions sont réparties entre un pourcentage de 47% des étudiants qui disent qu'il existe 3 types fonctionnels de synapse et d'autre (13%) affirment qu'il existe 5 types fonctionnels (Fig. 14). En aval de cet enseignement, 61% des étudiants ont opté pour les réponses incorrectes à savoir qu'il y a 3types fonctionnels de synapse pour 51% des étudiants et 5 types fonctionnels de synapse pour 10% des autres étudiants interrogés. Alors que 39% des étudiants ont pu donner la réponse correcte stipulant qu'il existe 2types fonctionnels de synapse (Fig. 14). Ces résultats montrent que le nombre de la synapse est un concept qui n'est pas maitrisé par plus de la moitié des étudiants.

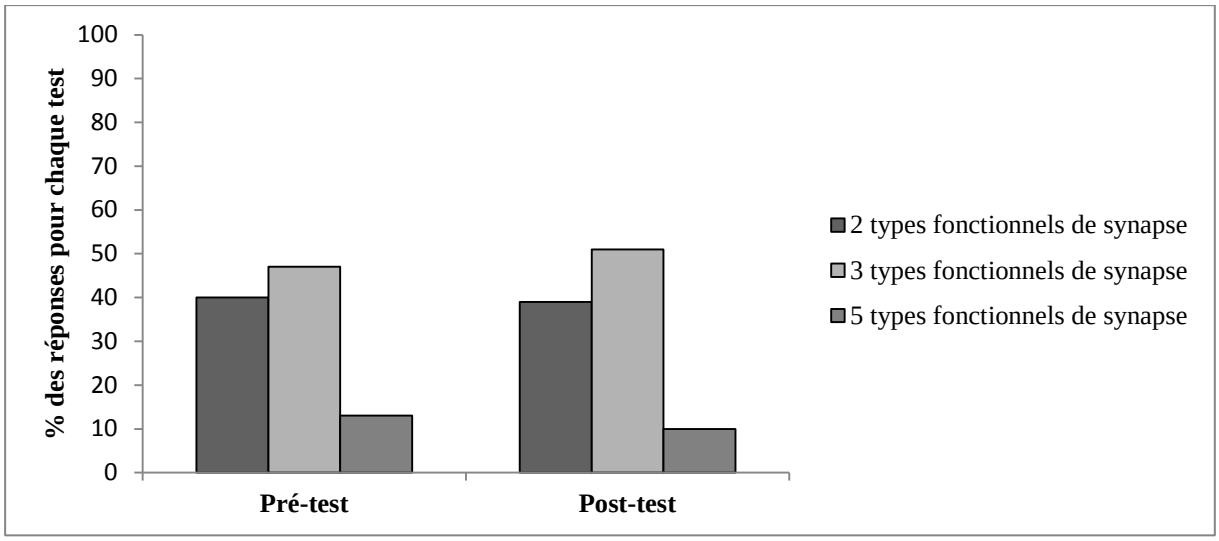


Figure 14: Pourcentages des réponses des étudiants sur le nombre du type fonctionnel de la synapse.

- **Q6. Le schéma de la synapse**

Dans la question 6 (Q6), il a été demandé aux étudiants de donner le schéma d'une synapse. Les résultats sont alarmants car dans les deux tests (pré-test et post-test), plus de 90% de la population interrogée n'a pas pu dessiner le schéma correct de la synapse (Fig. 15). D'après les résultats obtenus, il semble bien que la représentation iconique présente des problèmes pour ces étudiants.

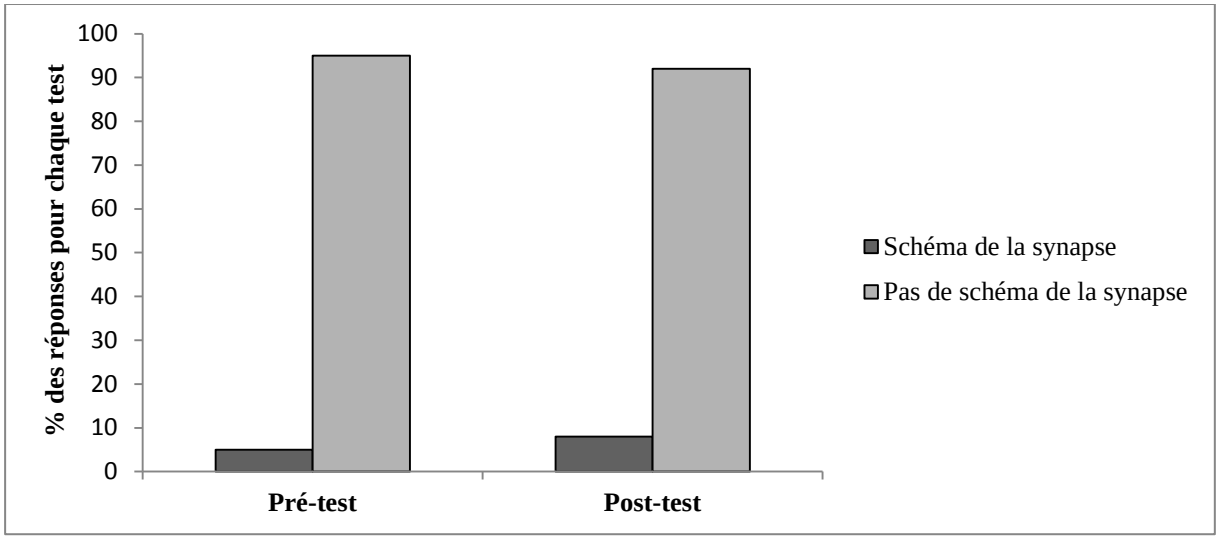


Figure 15: Pourcentages des réponses des étudiants concernant le schéma de la synapse.

- **Q7. La définition du neurone**

La question 7(Q7) s'articule autour du concept neurone qui est un concept clé de la neurotransmission. Les données obtenues semblent montrer que ce dernier est également un

concept non maitrisé. En effet, seuls 21% des étudiants interrogés en amont de l'enseignement de la neurotransmission ont coché les deux propositions correctes (a et c) qui définissent respectivement le neurone comme une cellule nerveuse composée d'un noyau entouré de structures en forme d'étoiles qui sont les dendrites et d'un long prolongement qui est l'axone (a) et dotée de propriétés spécifiques : excitabilité, propagation et transmission de l'influx nerveux (c). En revanche, le pourcentage des étudiants qui ontoptépour l'une ou l'autre des propositions correctes mais incomplète (a ou c) augmente pour atteindre 53%. Il faut noter que 43% des étudiants interrogés se sont limités à la définition (a) donc à la description anatomique du neurone et seul 10% ont coché la définition (c) à savoir les fonctionnalités du neurone. Pour les autres étudiants (26%), ils ont coché la proposition incorrecte (b) à savoir que le neurone est la seule cellule qui constitue notre cerveau (Fig. 16).

En aval de cet enseignement, on a noté une augmentation du pourcentage des réponses correctes mais qui reste insuffisante puisque le pourcentage des étudiants ayant donné la définition correcte du neurone (a et c) n'a pas dépassé 32%. Pour les autres étudiants interrogés, il y a 58% d'entre eux ont coché une seule proposition correcte mais qui reste incomplète pour bien définir le concept du neurone et 10% des étudiants restants ont opté pour la proposition incorrecte (b) (Fig. 16).

Ces résultats révèlent que ces étudiants n'ont pas pu atteindre un niveau de conceptualisation leur permettant d'acquérir totalement le concept du neurone.

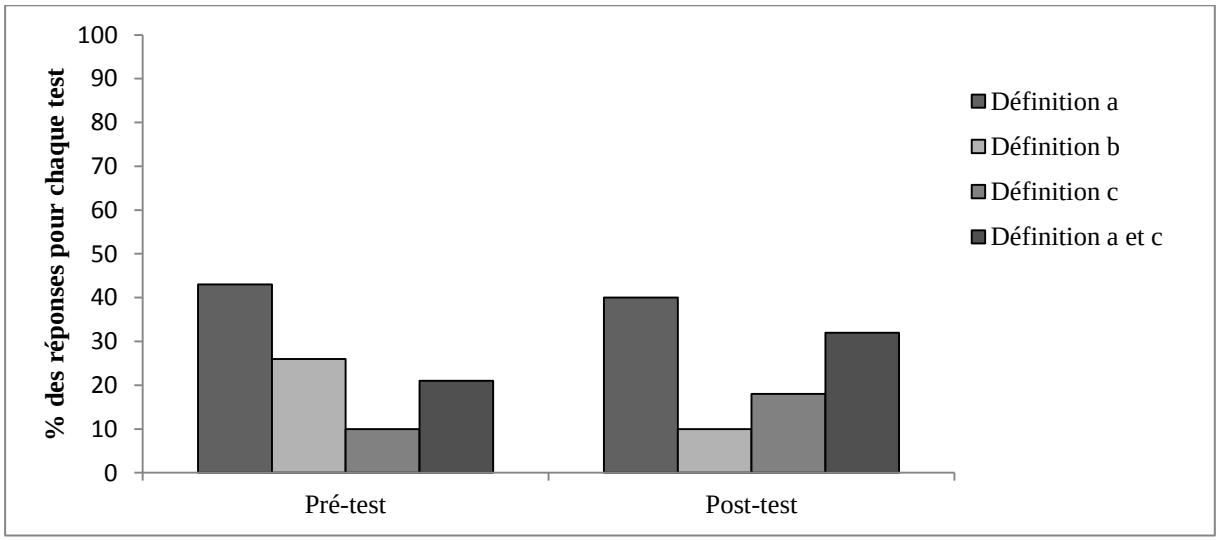


Figure 16: Pourcentages des réponses des étudiants concernant la définition du neurone.

- **Q8. Le schéma du neurone**

La question 8 (Q8) consiste à donner le schéma du neurone. Les données recueillies vont dans le sens des réponses de la question précédente à savoir que les étudiants interrogés n'ont pas vraiment conceptualisé le neurone. En effet, dans les deux tests (pré-test et post-test) la majorité des étudiants (69%) et (82%) respectivement n'ont pas pu donner le schéma du neurone (Fig. 17). Ce qui confirme la présence de la difficulté liée à la représentation iconique chez ces étudiants.

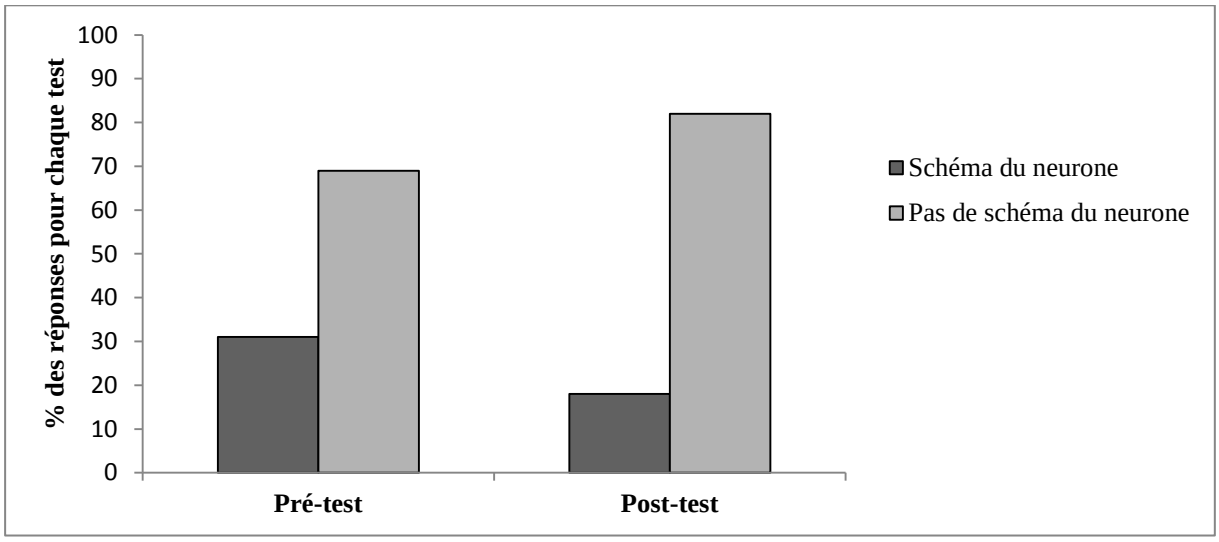


Figure 17: Pourcentages des réponses des étudiants à propos du schéma de neurone.

- **Q9. La définition du neurotransmetteur**

La question 9 (Q9) est une question ouverte où il a été demandé aux étudiants de définir le concept de neurotransmetteur. Pour analyser les propositions de définitions des étudiants, nous nous sommes basés sur des mots clés définissant le concept du neurotransmetteur tels qu'il est une substance chimique, neuromédiateur, transmission de l'information, synthétisé par un neurone.

D'après les résultats obtenus en amont de l'enseignement du cours de la neurotransmission, 52% des étudiants interrogés n'ont proposé aucune définition pour le concept du neurotransmetteur, ainsi que 12% des étudiants semblent confondre le concept de neurotransmetteur avec celui de neurone. Par ailleurs, le pourcentage des étudiants ayant pu formuler une définition correcte n'a pas dépassé 8%. A savoir que le neurotransmetteur ou neuromédiateurs est une substance chimique synthétisée par un neurone au niveau d'une synapse et capable de transmettre ou transporter l'information (influx nerveux) d'un neurone

vers une cellule cible. Quant au 28% des étudiants restant, ils ont formulé des propositions plus ou moins correctes mais qui restent incomplètes pour définir le neurotransmetteur. En fait, il s'agit des fragments de la définition comme étant le neurotransmetteur est une substance chimique pour 8%d'étudiants enquêtés; une substance chimique synthétisée par un neurone pour 5% des étudiants; il transmet l'information d'un neurone à l'autre pour 9% des étudiants ainsi que d'autres (6%) ont cité des neurotransmetteurs tels GABA; Acétylcholine, Dopamine, noradrénaline (Fig. 18).

La même question a été proposée en aval du cours sur la neurotransmission, les données obtenues sont quasi similaires aux données du pré-test. En effet, aucune définition n'est donnée du concept de neurotransmetteur pour 65% des étudiants enquêtés. Alors, que 12% des étudiants ont donné des définitions incorrectestelles que le neurotransmetteur est un neurone pour 7% des enquêtés et le reste des étudiants (5%) le reçoit comme une synapse. A l'opposé, le pourcentage des étudiants ayant formulé des réponses correctes complètes et incomplètes est de l'ordre de 23% dont 11% de ces étudiants ont donné une définition correcte du concept mais le reste des étudiants (12%) s'est basé sur des mots clés déjà cités à savoir le neurotransmetteur est une substance chimique (11%) et transmet l'information (1%) (Fig. 18).

A l'issue de cette analyse, on peut donc dire qu'à priori la majorité des étudiants n'a pas bien assimilé le concept du neurotransmetteur et que l'évolution des conceptions des étudiants est très minime et cela malgré un enseignement intense sur le concept à l'université.

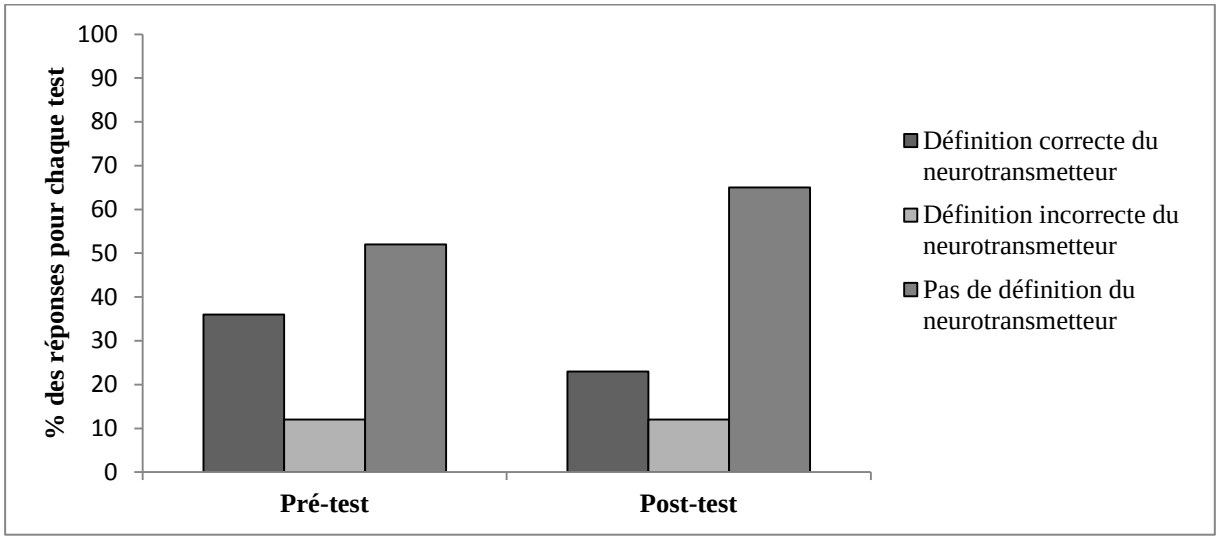


Figure 18: Pourcentages des réponses des étudiants sur la définition du neurotransmetteur

- **Q10. La définition de la neurotransmission**

Dans la question 10, les étudiants ont été appelé à définir le concept de la neurotransmission. Dans le pré-test, la majorité des étudiants (78%) n'a pas donné une définition pour le concept et 13% des étudiants interrogés ont donné une définition incorrecte du concept à savoir que pour 6% de ces étudiants, la neurotransmission est une synapse et pour 7% du reste de ces étudiants, la neurotransmission est un influx nerveux. A l'opposé de 9% des étudiants qui ont pu donner une définition correcte du concept de la neurotransmission stipulant qu'elle désigne le passage de l'influx nerveux à travers une synapse grâce à la libération d'un neurotransmetteur libéré dans la fente synaptique et fixé sur des récepteurs spécifiques présents sur la surface post-synaptique (Fig. 19).

Dans le post-test, on assiste à une augmentation du pourcentage des étudiants qui n'ont pas donné la définition du concept de la neurotransmission qui atteint (83%), à cela s'ajoute 7% des étudiants qui disent que la transmission synaptique est une transformation de l'influx nerveux à savoir que c'est une définition incorrecte. A l'opposé, il y a seulement 10% des étudiants interrogés qui ont pu donner la définition correcte du concept de la neurotransmission (Fig. 19).

D'après les résultats obtenus pour cette question, il ressort que la majorité des étudiants interrogés n'a pas bien intégré le concept de la neurotransmission après son enseignement à l'université.

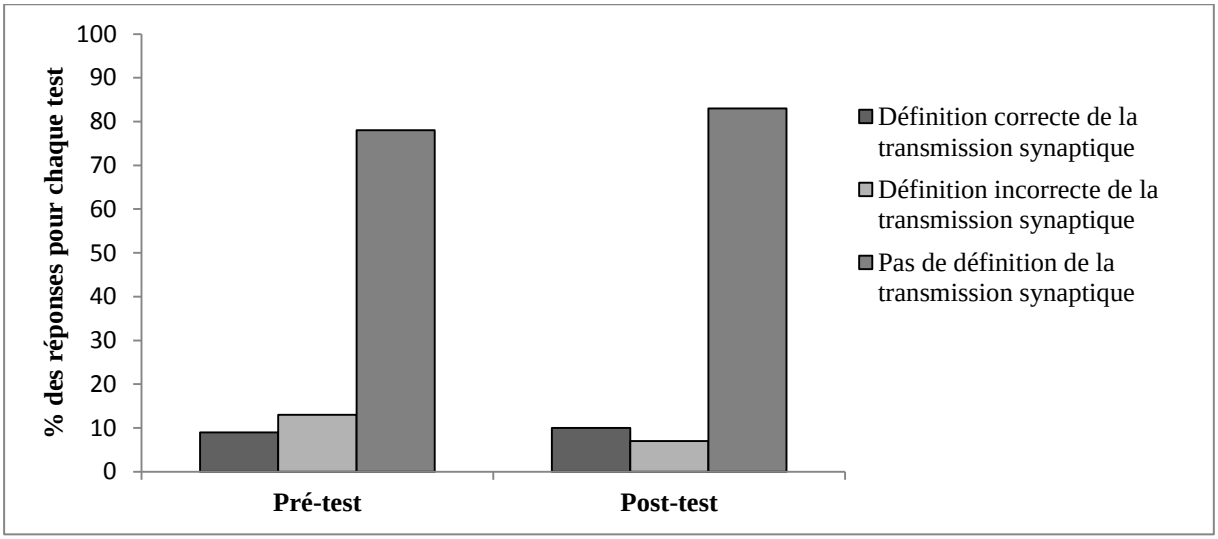


Figure 19: Pourcentages des réponses des étudiants sur la définition de la neurotransmission.

III. Discussion

L'analyse des résultats des étudiants, en amont et en aval de l'enseignement/apprentissage de la neurotransmission, a permis de constater que pour la majorité des étudiants interrogés, la propagation de l'influx nerveux se fait d'une manière continue (Q1) et que le message nerveux est de nature électrique (Q2). Ces résultats mettent en évidence la persistance de la conception électrique chez ces étudiants et donc la résistance de leurs pré-acquis enracinés depuis les classes du Secondaire. En effet, l'examen du contenu du manuel scolaire (1ère année du baccalauréat Sciences de la Vie et de la Terre) traitant le concept de la neurotransmission nous a permis de repérer une focalisation sur la nature électrique du message nerveux ce qui peut avoir une grande influence sur les conceptions des étudiants interrogés (Morin, 2006). Ainsi, malgré un enseignement avancé sur le concept, les étudiants continuent à se baser sur leurs pré-acquis sur le concept tel qu'il a été traité en classe du secondaire. Il faut noter que la dominance de la conception électrique de la transmission du message nerveux a déjà été signalée par d'autres chercheurs Laribi et al. (2010) qui ont montré que la surreprésentation de l'aspect électrique du message nerveux pourrait renvoyer à une continuité du tissu nerveux.

Les données obtenues pour la question (Q3) semblent montrer que trois quart des étudiants interrogés semblent comprendre la structure responsable de la transmission de l'influx nerveux à savoir la synapse.

Quant aux données des questions (Q4), (Q5) au sujet de la synapse (la définition, le nombre de synapse) et (Q7) portant sur le concept du neurone, elles indiquent qu'à priori les deux concepts (synapse et neurone) ne sont pas bien assimilés par la majorité des étudiants, même après un enseignement bien approfondi à l'université.

Cela met en évidence la persistance des conceptions alternatives qui sont de nature erronées chez la majorité des étudiants interrogés. Ce qui montre d'une part que ces notions ne sont pas assimilées depuis les classes de secondaire. Ce résultat est conforme avec des données de la littérature qui confirment avec une régularité certaine que le savoir passe mal et qu'il est peu intégrer par les apprenants (Giordan et al., 1994; Bautier & Goigoux, 2004; El Hassouny, 2014) et d'autre part, que la séquence d'apprentissage à l'université a un effet limité sur l'appropriation de ces deux notions. Il faut noter que ce dernier constat est conforme avec une étude portant sur le système nerveux, menée par Bec et Favre (1996) et qui a montré que le

cours de Biologie a globalement un effet limité sur l'appropriation des concepts par les élèves de Terminal.

Aussi, les résultats des questions (Q6) et (Q8), portant sur la schématisation de la synapse et du neurone, montrent que cette compétence n'est pas assez maitrisée par les étudiants interrogés. Ainsi, même après la séquence d'apprentissage, la compétence de les schématiser reste non acquise. Ce constat est conforme avec une étude menée par Kaddari (2005), mettant en évidence les difficultés de la perception iconique des concepts d'atomistiques par les étudiants à l'université.

Pour les résultats des deux questions ouvertes (Q9) et (Q10), il semble que la majorité des étudiants interrogés n'arrive pas à intégrer la conception chimique dans leurs apprentissages du concept de la neurotransmission à l'université pour qu'elle puisse définir le concept du neurotransmetteur et celui de la neurotransmission. Les données de ces deux questions confirment la persistance de la conception électrique présente chez ces étudiants. Ces conceptions alternatives (pré-acquis) peuvent constituer un obstacle à l'apprentissage de la neurotransmission en particulier l'appropriation de la conception chimique (Laribi et al., 2010).

En se basant sur les réponses des étudiants concernant les deux questionnaires, on voit bien qu'il existe une cohérence entre leurs réponses depuis la première question (Q1) jusqu'à la dernière question (Q10) puisque la majorité des étudiants interrogée affirme que la propagation de l'influx nerveux se fait d'une manière continue, ce qui signifie pour eux que le message nerveux est de nature électrique, donc nous assistons chez ces étudiants à une persistance de la conception électrique à l'opposé de la conception chimique qui n'est pas intégrée durant toute la séquence d'apprentissage du cours de la neurotransmission à l'université. Donc en analysant le raisonnement de ces étudiants, nous nous attendions à des mauvaises réponses quant à la définition du concept du neurotransmetteur et par la suite la définition du concept de la neurotransmission. Cela peut être dû d'une part au fait que ces étudiants n'arrivent pas à établir des relations entre les concepts introduits dans le cours qui sont souvent enseignés d'une façon morcelés (Laribi et al., 2010) pour arriver à assimiler le concept de la neurotransmission. Ce constat est confirmé par les données de la littérature qui montrent que les apprenants sont incapables de mettre des liens entre les concepts associés afin de résoudre des problèmes complexes dans leurs apprentissages (Sadi, 2014; Beorchia,

2003; Bennour, 2004) et d'autre part à la complexité du savoir scientifique (Astolfi, 1992) à savoir le concept de neurotransmetteur et de la neurotransmission.

Lors de cette expérimentation, nous avons pu repérer un ensemble de difficultés et obstacles chez les étudiants interrogés qui entravent leur apprentissage du concept de la neurotransmission en empêchant l'évolution et la progression de leurs conceptions dans le sens de construire un savoir adéquat et proche de la réalité scientifique. En tenant compte des résultats obtenus de cette expérimentation et avec des entretiens semi-dirigés avec les étudiants interrogés, on a pu constater que ces derniers ont des problèmes aux niveaux de la langue française ce qui bloque leurs apprentissages des concepts introduits dans les cours de la biologie surtout le cours de la neurotransmission. Cela est déjà confirmé dans les résultats de la première expérimentation visant d'approcher l'impact de la langue française sur les apprentissages des étudiants à l'université et aussi il peut être lié aux problèmes langagiers qui sont dus à la discontinuité linguistique qui caractérise le système éducatif marocain (Amargui, 2006) dont on assiste à une prédominance de l'arabe comme langue d'enseignement depuis le primaire jusqu'au secondaire et enfin l'utilisation du français dans le supérieur comme langue d'enseignement (Chakib et al., 2013).

En effet, les résultats obtenus de cette expérimentation sont très conformes aux données de la littérature sur l'enseignement et l'apprentissage des concepts scientifiques, qui ont montré d'une part que les connaissances des apprenants sont souvent surestimés (Kaddari, 2005; Ozmen, 2004; Clément,1994; Albanese & Vicentini, 1997) et d'autre part que les conceptions initiales constituent parfois des blocages et des obstacles à l'apprentissage (Jonnaert, 1988; Darley1994; Schneider & Stern, 2010; Cormier, 2013; Abraham, Perez & Price, 2014; Kampourakis, Silveira & Strasser, 2016; Luksa et al., 2016). En fait, ces étudiants semblent ne pas être conscients de l'écart entre leurs conceptions et la connaissance scientifique actuelle (Laribi et al., 2010) et ils ne voient pas de l'importance de restructurer leur compréhension conceptuelle d'une théorie donnée vers un modèle plus savant (Morin, 2014).

En tenant compte des résultats obtenus, on a pu repérer un ensemble d'obstacles à l'apprentissage de la neurotransmission. Selon la catégorisation faite par Bachelard (1938), ces obstacles peuvent être d'origine ontogénique où ces obstacles sont attribuables au niveau de développement cognitif des étudiants (conceptions alternatives et pré-acquis), d'origine épistémologiques qui trouvent leur source dans la nature même des concepts scientifiques et

s'observent aussi dans l'histoire de ces concepts. Enfin, d'origine didactique qui entrave l'apprentissage, ces obstacles trouvent leur source dans l'enseignement lui-même.

Conclusion

A l'issu de cette enquête, il semble que les notions de la neurotransmission sont-à priori loin d'être maitrisées et que la majorité des étudiants n'arrivent pas à assimiler les concepts déjà définis au cours des séquences d'apprentissages en classe du secondaire. En effet, la persistance des pré-acquis, la dominance des conceptions erronées concernant le concept de la neurotransmission chez ces étudiants enquêtés et l'effet limité de la séquence d'apprentissage sur l'appropriation de ce concept ainsi que l'obstacle linguistique peuvent bloquer l'évolution des conceptions de ces étudiants pour bien acquérir le concept de la neurotransmission. A cela s'ajoute la difficulté de schématiser les concepts de la synapse et du neurone, ce qui prouve que la compétence d'iconique n'est pas assimilée chez ces étudiants qui sont dans une formation (SVI) qui se base principalement sur les représentations verbales et iconiques. Cette analyse révèle une grande similitude entre les conceptions initiales des étudiants concernant la neurotransmission ce qui devient pertinent que les enseignants tiennent compte de ces conceptions afin de contribuer à l'appréhension de ce concept.

Ces résultats alarmants nous ont poussés de réfléchir aux outils pédagogiques susceptibles d'améliorer les apprentissages et pourquoi pas provoquer un changement conceptuel positif chez les étudiants à l'université.

Chapitre VII : Investigation et Interactivité: Deux formes d'enseignement actif

Dans le contexte universitaire marocain, sous l'emprise de la massification, la méthode magistrale qui a fait l'objet de diverses critiques (Bireaud, 1990), reste la plus adoptée. En fait, selon (Bouchard & Parpette, 2007), plusieurs contexte éducatifs, la démarche magistrale est encore dominante dans la communication des savoirs et cela malgré les appels de plus en plus en vogue à l'innovation pédagogique. En effet, afin de palier à la passivité de l'étudiant dans les cours magistraux, ces appels insistent sur le fait de favoriser de nouvelles formes d'apprentissage et de nouveaux modes d'enseignement fondés sur des approches centrées sur l'étudiant.

Comme il a déjà été mentionné auparavant, une des questions à l'origine de ce travail s'articule autour des méthodes pédagogiques. En effet, peut-on dynamiser un amphi et favoriser encore plus l'implication de l'étudiant dans la construction de son savoir?

Pour apporter des éléments de réponses à cette question, nous avons adapté à notre contexte une démarche bien connue qui est la démarche d'investigation et nous avons essayé en l'appliquant de voir comment ont évolué les conceptions sur les notions basiques de la neurotransmission.

Avant de présenter les données de cette expérimentation IV, nous présentons les résultats obtenus par l'expérimentation III. La finalité de cette dernière est de voir si la Démarche d'Investigation a un écho chez les enseignants du secondaire et donc si elle est adoptée ou non dans l'enseignement des disciplines des sciences expérimentales au niveau du secondaire (Sciences de la vie et de la terre, Sciences de la physique et de la chimie) et enfin déterminer les contraintes et les obstacles à sa mise en pratique. En fait, notre objectif était de voir si les étudiants actuels qui sont des ex-élèves avaient eu des enseignements mettant en exergue l'investigation et l'interactivité.

Troisième expérimentation: Aperçu sur les difficultés et contraintes limitant l'adoption de la Démarche d'Investigation en sciences expérimentales dans l'enseignement du secondaire qualifiant.

Introduction

Parmi les démarches éducatives incitantes à un apprentissage efficace, les plus en vogue actuellement est la Démarche d'Investigation (DI). Il s'agit d'une démarche scientifique fondée sur le questionnement et sur l'investigation et où l'apprenant est placé au centre de l'action de ses apprentissages, s'interroge, agit de manière raisonnée et communique pour construire son apprentissage tout en étant acteur des activités scientifiques (Darley, 2007).

Cette étude s'inscrit dans le cadre des travaux de recherche s'interrogeant sur l'application de la Démarche d'Investigation dans l'enseignement des sciences au Maroc. Par ce travail nous visons mettre en exergue les représentations des enseignants du secondaire qualifiant sur le concept de la DI, voir si cette démarche est adoptée ou non dans l'enseignement des disciplines des sciences expérimentales (Sciences de la vie et de la terre, Sciences de la physique et de la chimie) et enfin déterminer les contraintes et les obstacles à sa mise en pratique. Afin de réaliser ces objectifs, nous avons adopté la méthodologie décrite ci-dessous.

I. Plan d'expérimentation

L'outil de base de cette étude est une enquête sous forme d'un questionnairesuivi des entretiens semi-dirigés. L'élaboration du questionnaire s'est faite en deux étapes: dans la première, le questionnaire se composait de 10 questions dont certaines étaient des questions fermées et d'autres des questions à choix multiples (QCM) demandant aux enseignants de s'exprimer sur la Démarche d'Investigation.

Les questions formulées portaient sur trois axes:

1. Représentations des enseignants sur la démarche d'investigation.
2. Adoption ou non de la démarche d'investigation par les enseignants et sa mise en pratique dans la classe.
3. La contribution de l'adoption de la DI dans l'enseignement des sciences.

Les données collectées étaient très minimes car les enseignants ont manifesté une résistance qu'ils justifiaient par la longueur du questionnaire. Cependant, via les entretiens, nous avons pu déduire qu'ils n'ont pas voulu s'engager dans les réponses car la terminologie Démarche d'Investigation leur semble inconnue et qu'ils ne sont pas familiarisés avec ce terme. Après une discussion sur la thématique avec un groupe d'enseignants, le questionnaire a été repris et nous avons limité le nombre de questions à cinq et simplifié leur formulation (Annexe 3).

L'étude a été réalisée dans plusieurs lycées publics de la ville de Fès (Maroc), durant l'année scolaire 2015-2016. Notre population ciblée est constituée de 45 professeurs de l'enseignement secondaire qualifiant.

II. Résultats

Les résultats obtenus sont représentés dans les histogrammes ci-dessous.

- **Q1.Avez-vous déjà entendu parler de la Démarche d'Investigation?**

Les résultats obtenus de cette question (Q1), nous ont montré que 61% des enseignants enquêtés affirment avoir déjà entendu parler de la Démarche d'Investigation, à l'opposé de 37% des enseignants qui ont exprimé leur ignorance totale concernant cette démarche ainsi qu'une minorité de 2% des enseignants a opté pour la modalité « je ne sais pas ». (Fig. 20).

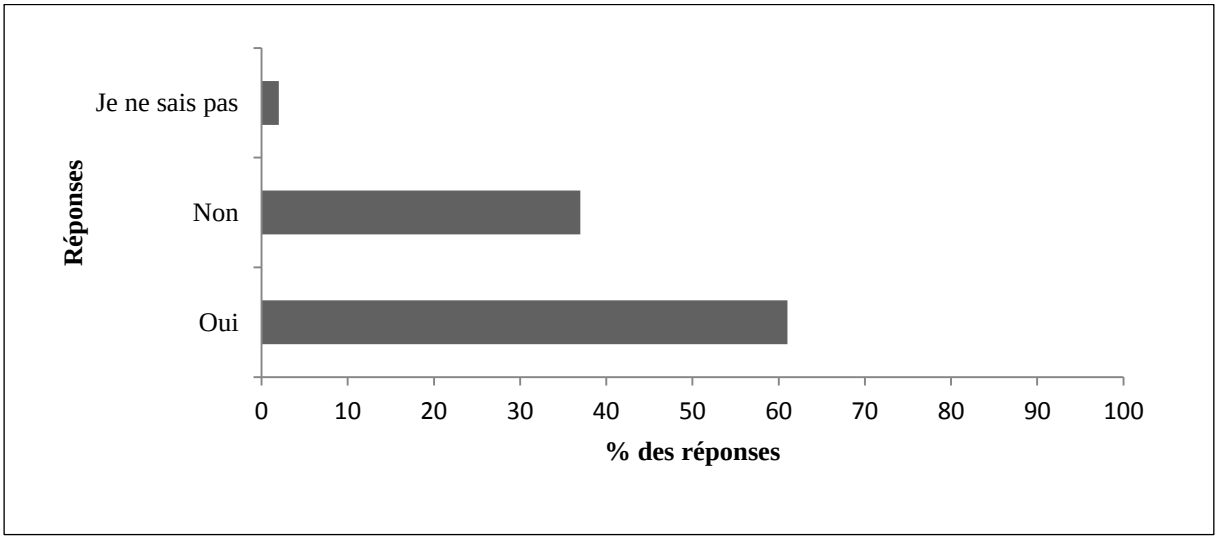


Figure 20: Réponses des enseignants s'ils ont déjà entendu parler de la Démarche d'Investigation.

- **Q2.Donnezla définition convenable de la Démarche d'Investigation**

Dans cette question (Q2), on a demandé aux enseignants de choisir la bonne réponse concernant la définition de la DI, on a constaté une hétérogénéité de réponses. En effet, 52% d'enseignants ont opté pour la réponse stipulant que la DI est une démarche basée sur l'investigation concernant les obstacles d'apprentissages des élèves et 20% des enseignants ne connaissent pas la réponse pour cette question. En revanche, seul un pourcentage de 28% d'enseignants qui ont choisi la réponse la plus correcte à savoir que la Démarche d'Investigation est une démarche scientifique fondée sur le questionnement et sur

l'investigation, mettant l'apprenant au centre de ses apprentissages lors de l'enseignement des sciences (Fig. 21).

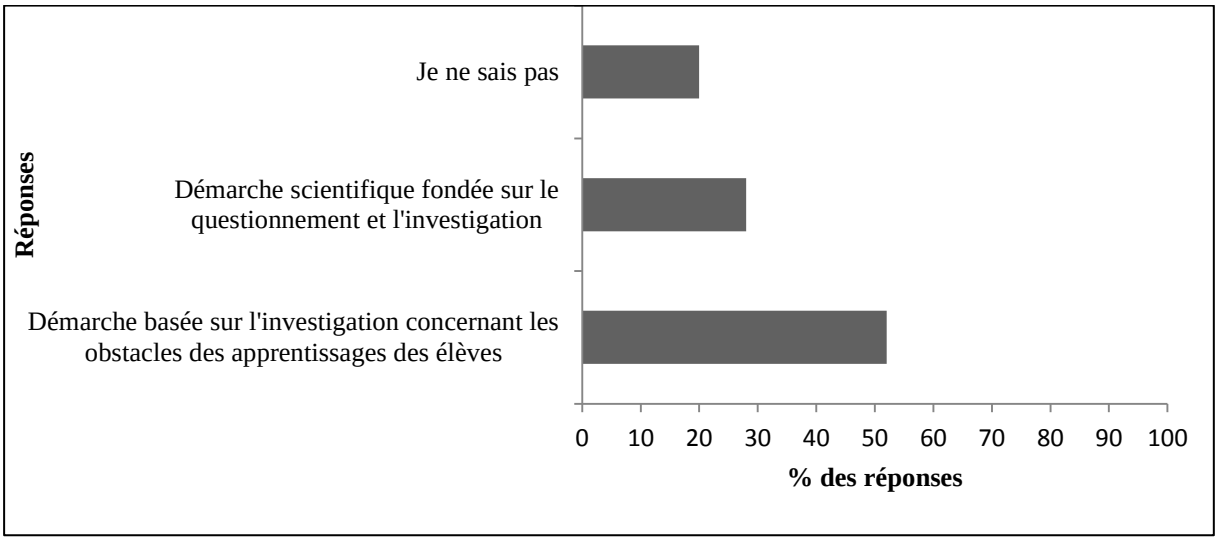


Figure 21: La définition de la Démarche d'Investigation.

- **Q3.Avez-vous déjà bénéficié d'une formation continue concernant la Démarche d'Investigation?**

Pour cette question (Q3), on a constaté que 80% des enseignants n'ont pas eu de formation concernant la démarche d'investigation. La proportion des enseignants qui a affirmé avoir déjà bénéficié d'une formation dans ce sens ne dépassent pas 20% (Fig. 22).

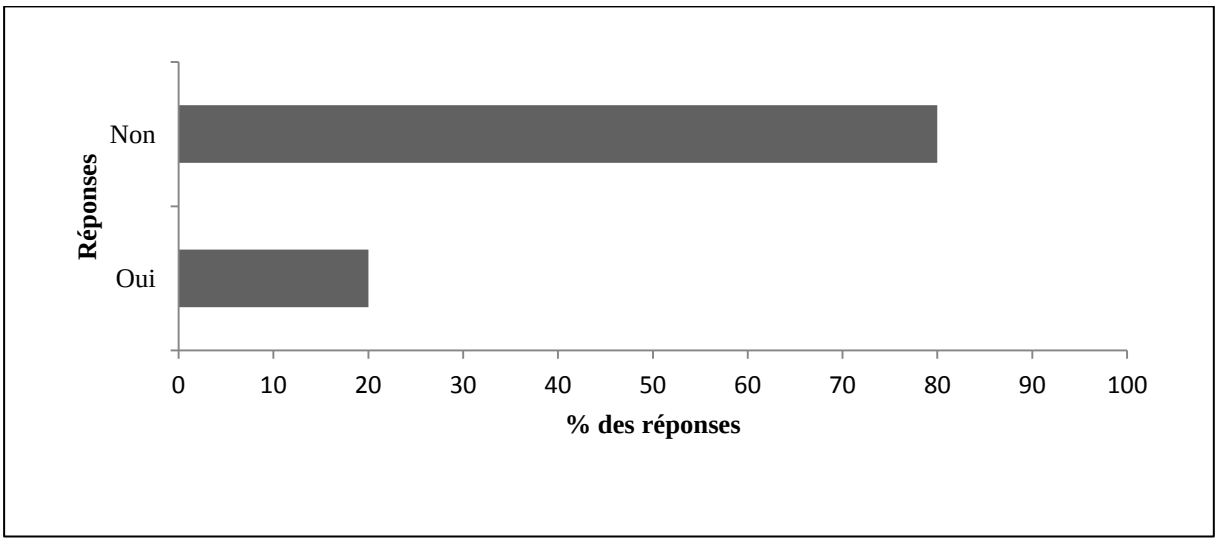


Figure 22: Pourcentages des réponses des enseignants concernant la formation continue sur la Démarche d'Investigation.

- **Q4. Est-ce que vous adoptez la Démarche d'Investigation dans votre enseignement?**

D'après les données recueillies pour cette question (Q4), 62% des enseignants affirment qu'ils n'adoptent pas la DI dans leurs enseignements et cela à l'opposition de 38% des enseignants interrogés qui avouent avoir recouru à cette démarche. Malheureusement, cela ne nous donne aucune indication sur la pratique réelle de cette démarche en classe (Fig. 23).

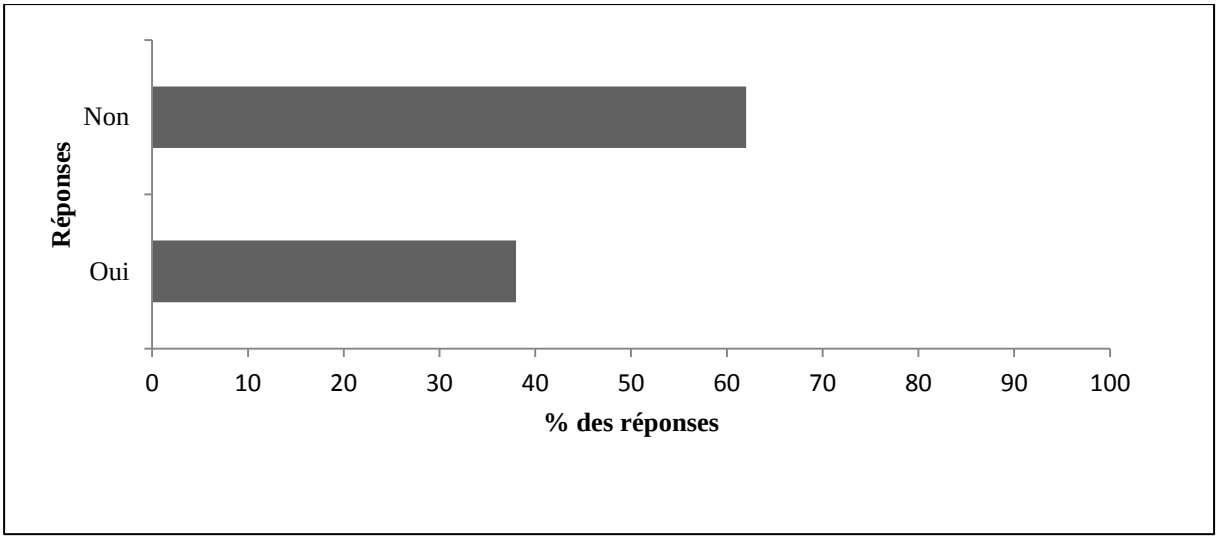


Figure 23: L'adoption ou non de la Démarche d'Investigation dans les enseignements du secondaire.

- **Q5. Quelles sont les contraintes qui empêchent l'adoption de la Démarche d'Investigation?**

Afin d'avoir des éléments de réponse sur les contraintes qui empêchent l'adoption de la DI dans les classes du secondaire (Fig. 24), nous avons formulé la question (Q5) qui consiste en 3 items:le programme chargé (a), le manque d'autonomie des élèves (b) la surcharge du nombre des élèves (c).

A partir des réponses obtenues, on constate que 57% des enseignants interrogés affirment que les contraintes limitant l'adoption de cette démarche dans les classes sont multiples : le programme chargé (a), le manque d'autonomie des élèves (b) et la surcharge du nombre des élèves (c). Pour 20% des enseignants, la surcharge du nombre des élèves (c) est la principale cause limitant l'adoption de la DI dans les apprentissages. Pour 14% des enseignants, ils affirment que c'est dû au programme chargé (a) et enfin 9% des enseignants disent que

lemanque d'autonomie des élèves (b) limite l'adoption de la DI dans les classes de secondaire (Fig. 24).

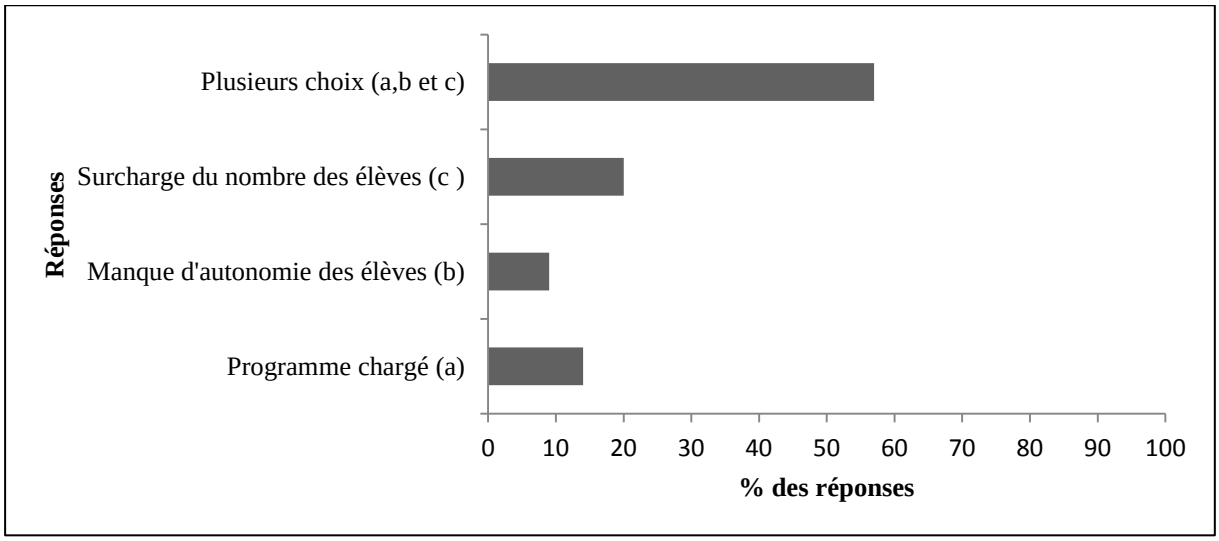


Figure 24: Les contraintes qui limitent l'adoption de la Démarche d'Investigation.

III. Discussion

Selon les questions (Q1), (Q2) concernant les représentations des enseignants interrogés sur la Démarche d'Investigation, il semble que ces derniers ont des confusions relatives à la définition correcte de la Démarche d'Investigation. En effet, plus de la moitié de la population interrogée a opté pour la formulation incorrecte stipulant que la DI est une démarche basée sur l'investigation concernant les obstacles d'apprentissages des élèves et cela malgré que ces enseignants ont affirmé qu'ils déjà entendu parler de cette démarche. Ces résultats se corrèlent avec ceux obtenus dans des recherches dans d'autres systèmes éducatifs comme par exemple l'étude de Coupaud (2014) et Boilevin (2013) qui montrent que les enseignants de différentes disciplines (Sciences de la vie et de la terre, Sciences physiques et chimiques, Technologie) perçoivent parfois différemment la notion de la Démarche d'Investigation.

Les données de la question (Q3) montrent que la majorité des enseignants n'a pas bénéficié d'une formation continue sur la DI. En effet, le manque des formations continues sur les démarches pédagogiques nouvelles et notamment la DI peut être à l'origine des confusions repérées chez les enseignants enquêtés.Ce constat est conforme avec une étude de Boilevin et al. (2016) menée dans un contexte international etqui a souligné que les formations concernant la DI est une nécessité et un besoin déclaré par les enseignants.

L’analyse qualitative des résultats obtenus de la question (Q4) montre qu’à priori cette démarche n’est pas adoptée par les enseignants enquêtés, il semble que les enseignants sont réticents à changer leurs méthodes de travail. La résistance au changement et le refus de nouvelles méthodes pédagogiques a déjà été signalé par les chercheurs dans d’autres contextes comme par exempleBoilevin et al (2012) qui ont révélé que les enseignants ne voient pas d’intérêt à modifier leur méthode d’enseignement et en conséquence n’adoptent pas la DI.

Les réponses des enseignants à la question (Q5) témoignent d’une multiplicité de difficultés et de contraintes qui peuvent limiter la mise en œuvre de la Démarche d’Investigation en classes, à savoir: la surcharge du nombre des élèves, le manque d’autonomie des élèves et le programme chargé. Ce résultat est conforme avec des données de la littérature qui révèlent que les enseignants sont confrontés à des multiples difficultés (le temps et le programme chargé ; le manque d’autonomie des élèves) pour mettre en place cette pratique (Calmettes, 2007, 2008, 2009; Gyllenpalm et al., 2010; Jameau, 2012; Vlassis et al., 2002; Venturini & Tiberghien, 2012; Boilevin et al., 2012).

Conclusion

L’analyse des résultats de cette enquête, nous a permis de dégager un ensemble de contraintes et de difficultés entravant la mise en pratique de la Démarche d’Investigation en classe. Ces contraintes sont liées d’une part, aux représentations erronées des enseignants sur la DI et d’autre part, à la surcharge du programme, la massification des classes et le manque d’autonomie des élèves. En effet, les confusions et les représentations erronées sur la définition correcte de la Démarche d’Investigation pourraient expliquer que les enseignants aient du mal à la mettre en œuvre, d’autant qu’ils n’ont pas ou peu suivi de formation sur cette nouvelle démarche.Ces contraintes énoncées soulignent l’importance de la formation continue des enseignants sur les nouvelles démarches notamment la Démarche d’Investigation. Du fait, que la formation permet à ces derniers d’évoluer et se sensibiliser aux nouvelles approches pédagogiques pour les adopter dans les enseignements des contenus scientifiques.

De ce fait, la non adoption de la Démarche d’Investigation dans l’enseignement des classes du secondaire renforce la dominance du modèle transmissif, ce qui nous produit des étudiants passifs et réceptifs entamant le cursus universitaire.

Quatrième expérimentation: Impact de l'adoption d'une démarche interactive sur l'évolution des conceptions des étudiants sur le concept de la neurotransmission

Introduction

Actuellement, il est totalement admis que l'enseignant doit tenir compte des conceptions des étudiants s'il veut arriver à un apprentissage efficace, ces dernières sont généralement résistantes et peuvent entraver les apprentissages et cela a été bien démontré dans la deuxième expérimentation dont les résultats ont montré que ce contenu semble non attractif et sans intérêt pour les étudiants. En effet, il a été constaté dans la deuxième expérimentation qu'à priori les conceptions des étudiants relativement aux concepts de bases sont inchangeables et n'évoluent pas au cours du cursus universitaire.

Les résultats de la deuxième expérimentation et les données obtenues de la troisième expérimentation qui a montré que le non adoption de la Démarche d'Investigation dans les enseignements des disciplines scientifiques au niveau du secondaire, renforcent la dominance du modèle pédagogique transmissif dans les enseignements en classe de secondaire, ce qui nous produit des apprenants passifs et réceptifs entamant le cursus universitaire. A la lumière de cela, nous avons émis l'hypothèse stipulant que l'adoption d'une démarche pédagogique active dans l'Enseignement/Apprentissage du concept de la neurotransmission à l'université peut contribuer à faire évoluer les conceptions des étudiants et induire à un changement conceptuel dans le sens de construire leur savoir scientifique.

I. Plan d'expérimentation

Dans cette expérimentation nous avons adopté la même méthodologie de la deuxième expérimentation en se basant sur le même questionnaire administré aux étudiants durant l'année universitaire 2015-2016. Le questionnaire (Annexe 2) est administré en amont de l'enseignement du concept de la neurotransmission pour une population d'étudiants bien déterminée, afin d'identifier les conceptions initiales des étudiants au sujet de ce concept et en aval de l'enseignement de ce concept pour la même population déjà enquêtée, pour but d'évaluer l'impact de l'adoption d'une démarche interactive sur l'évolution des conceptions de ces étudiants. A noter qu'on a adopté cette démarche dans le cours magistral, les séances de travaux pratiques.

I.1. Descriptif de la démarche pédagogique adoptée

S'inspirant des modèles de Hewson et Thorley (1989) et de Hewson, Beeth et Thorley (1998), décrits précédemment dans le cadre conceptuel, favorisant le processus de changement conceptuel chez les étudiants,nous avons adopté une démarche qui d'une part elle met en

valeur le pôle de l'apprenant étudiant- notamment en ce qui concerne ses conceptions par rapport au concept étudié qui est la neurotransmission et d'autre part elle est fondée sur le questionnement et l'investigation car le questionnement occupe une place fondamentale dans la construction du savoir.

En effet, la nouvelle démarche consiste à une nouvelle présentation du cours magistral traitant le concept de la neurotransmission mais en gardant toujours la méthode transmissive dans l'enseignement de la neurotransmission. En effet, dans un cours classique en amphithéâtre, en introduisant des questions pertinentes au cours de l'apprentissage d'un concept scientifique, nous stimulons la cognition des étudiants sans les rendre physiquement actifs et cela pour trouver des réponses et des solutions aux situations proposées (Faulx & Danse, 2015). La raison pour laquelle on a adopté cette démarche interactive, c'est de faire activer la cognition des étudiants au cours de la séquence d'enseignement de la neurotransmission ainsi que ses concepts associés. Cette démarche interactive basée sur une stratégie de prise en compte des conceptions initiales peut aider à une meilleure assimilation des notions en question. Le fondement de la méthode est de provoquer un conflit cognitif chez les apprenants, d'abord par inviter les étudiants à exprimer leurs conceptions par rapport à un concept donné, puis de leur présenter une démonstration opposée à leurs conceptions initiales. Le conflit cognitif qui en résulte provoque alors de l'insatisfaction. En effet, l'insatisfaction des étudiants à l'égard de leurs propres conceptions engendre une motivation intrinsèque qui les amène à rechercher des solutions innovantes pour acquérir et construire un savoir adéquat et proche de la réalité scientifique.

Ainsi, une partie de la séance était consacrée à une discussionet à un débatscientifique pour favoriserle développement conceptuel chez ces étudiants. Le cours magistral a également été enrichi de schémas explicatifs pour faciliterl'apprentissage et aider àla mémorisation des concepts et des phénomènes biologiques. Au cours des séances magistrales, les étudiants ont été amenés à répondre à des quiz sous forme de questions à choix multiples pour les impliquer plus dans leur apprentissage.

Dans la séance de Travaux Pratiques, contrairement aux années précédentes, l'enseignante ne s'est pas focalisée uniquement surle polycopié, elle a eu recours àdes séquences filmées, des vidéos et des sites Internet pour mieux visualiser le concept étudié et capter l'attention des étudiants. Au cours de la séance, les étudiants ont été invités à pratiquer l'expérience avec leurs paires afin de participer davantage à leur apprentissage.

I.2. Population cible

La population de l'étude se composait de 120 étudiantsdu premier cycle universitaire (deuxième année) de la filière Sciences de la vie (SVI). Elle est réalisée au seinde La Faculté des Sciences Dhar El Mahrazpendant l'année universitaire 2016-2017.

II. Résultats

Les résultats des données recueillies ont été traités par Excel.

- **Q1. La propagation de l'influx nerveux**

Dans la question 1 (Q1) s'articulant autour de la propagation de l'influx nerveux, les données obtenues mettent en évidencequ'en amont de l'enseignement de la neurotransmission, 72% d'étudiants ont opté pour la proposition incorrecte qui dit que l'influx nerveux se propage d'une manière continue alors que 28% disent que l'influx nerveux se propage d'une manière discontinue (Fig.25). Une augmentation dans le pourcentage des réponses correctes des étudiants qui atteint (63%) a été enregistrée en aval de cet enseignement (Fig. 25).

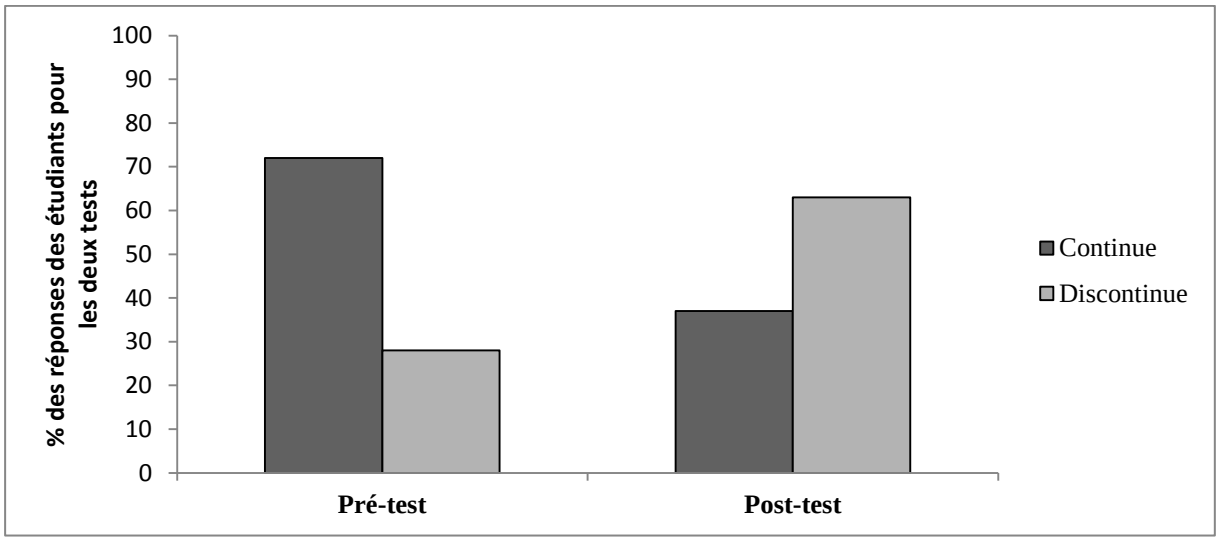


Figure 25: Pourcentages des réponses des étudiants concernant la propagation de l'influx nerveux.

- **Q2. La nature du message nerveux**

La deuxième question 2 (Q2) portait sur la nature du message nerveux. En amont de cet enseignement, seul 23% des étudiants ont opté pour la proposition correcte stipulant que le message nerveux est de nature à la fois électrique et chimique. A l'opposé de 77% des étudiants enquêtés qui ont opté pour les propositions incorrectes dont 47% des étudiants

disent que le message nerveux est de nature électrique et 30% des étudiants affirment qu'il est de nature chimique (Fig. 26).

Ce constat semble être amélioré en aval de l'enseignement de la neurotransmission puisque 76% des étudiants ont pu donner la réponse correcte à savoir que le message nerveux est de nature électrique et chimique (Fig. 26).

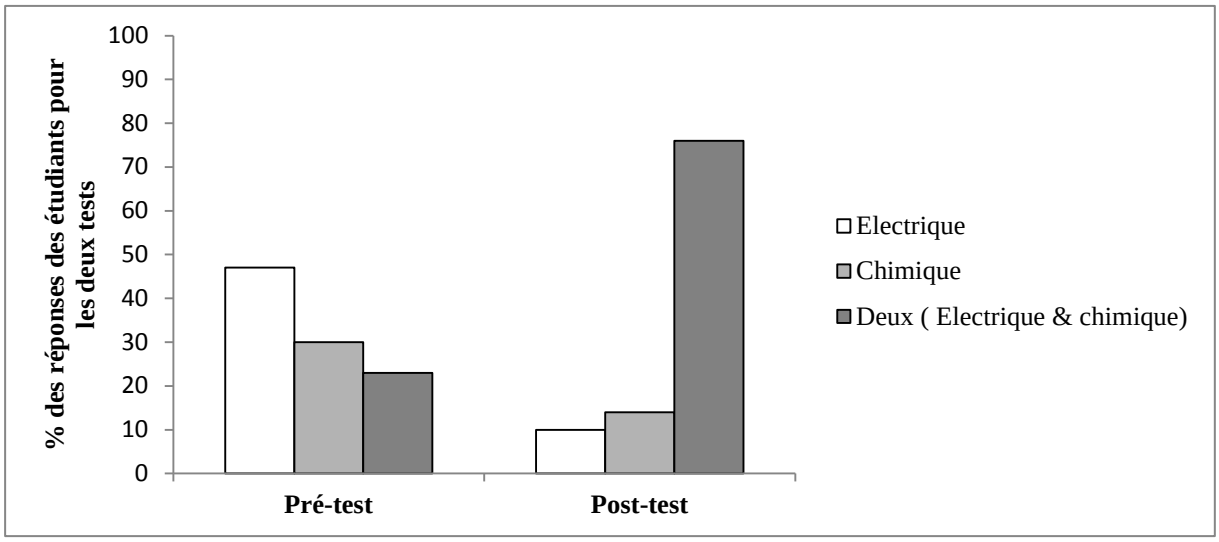


Figure 26: Pourcentages des réponses des étudiants sur la nature du message nerveux

- **Q3. La structure responsable de la transmission de l'influx nerveux**

La question (Q3) ayant pour objectif de déterminer la structure responsable de la transmission de l'influx nerveux: neurone, synapse ou axone. Les réponses des étudiants, ont montré qu'en amont de cet enseignement, 68% des étudiants ont opté pour la proposition correcte à savoir que la synapse est la structure responsable de la transmission de l'influx nerveux. Quant aux 32% des étudiants restants, ont coché des réponses incorrectes à savoir le neurone pour 16% des étudiants et l'axone pour 16% des étudiants restants (Fig.27).

Des pourcentages voisins à ces derniers ont été retrouvés en aval du cours à savoir 70% des étudiants ont opté pour la proposition correcte (Fig.27).

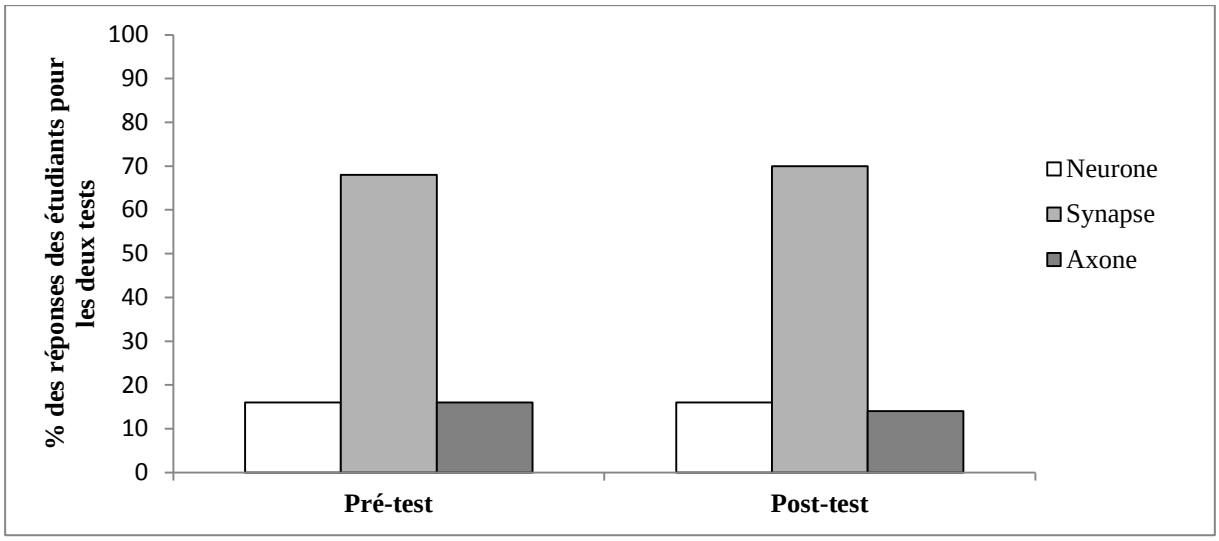


Figure 27 : Pourcentages des réponses des étudiants à propos de la structure responsable de la transmission de l'influx nerveux.

- **Q4. La définition de la synapse**

Pour la question 4 (Q4) sur ladéfinition de la synapse (Fig.28). Les résultats obtenus en amont de l'enseignement du concept de la neurotransmission montrent que 36% des étudiants interrogés ont coché la définition correcte de la synapse (a) stipulant que la synapse c'est la zone de contact spécialisée dans la transmission des messages nerveux alors que le reste des étudiants (64%) a coché les définitions incorrectes à savoir que la synapse est formée par un élément pré-synaptique et un élément post-synaptique (b) pour 22% étudiants et elle désigne l'espace entre l'élément pré-synaptique et l'élément post-synaptique (c) pour 42% étudiants interrogés (Fig. 28). Les données obtenues en aval de cet enseignement en adoptant une nouvelle démarche pédagogique mettent en évidence une augmentation qui atteint 52% dans les pourcentages des réponses correctes des étudiants (Fig. 28).

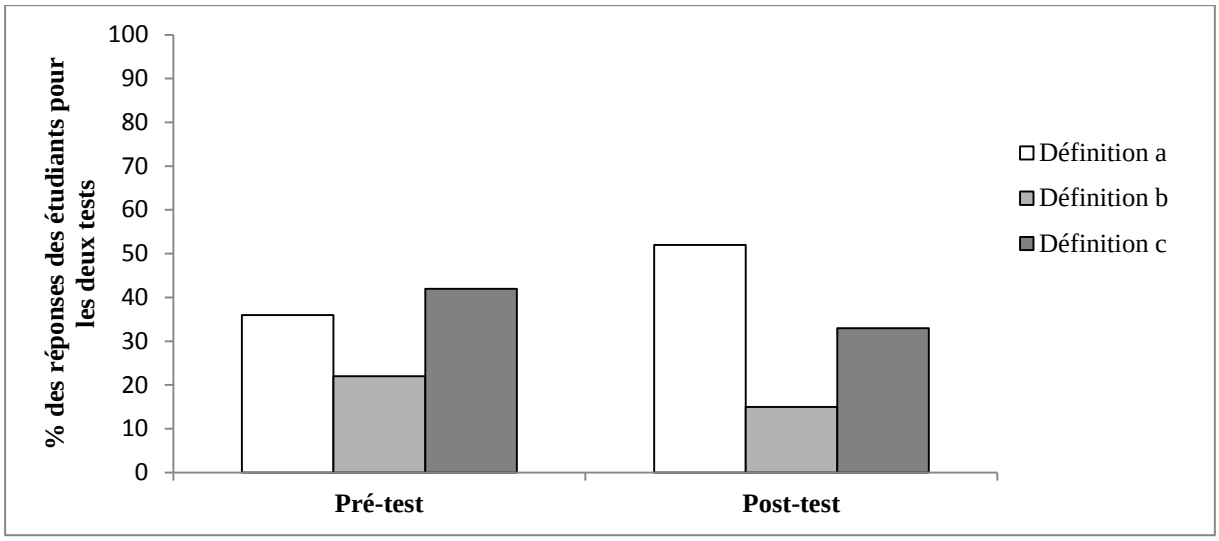


Figure 28: Pourcentages des réponses des étudiants concernant la définition de la synapse.

- **Q5. Le nombre de type fonctionnel de la synapse**

Dans la question 5 (Q5), concernant le nombre de type de la synapse. En amont de l'enseignement du concept de la neurotransmission, 40% des étudiants interrogés ont répondu correctement à savoirqu'il y a deux types fonctionnels de synapse. A l'opposé 60% des étudiants ont coché des propositions incorrectes soit qu'il existe 3types fonctionnels de synapse pour 47% des étudiants interrogés, soit 5 types fonctionnels de synapse pour 13% des étudiants (Fig. 29). En aval de cet enseignement, la moitiédes étudiants (53%) a opté pour la réponse correcte stipulant qu'il y a 2 types fonctionnels de synapse (Fig. 29).

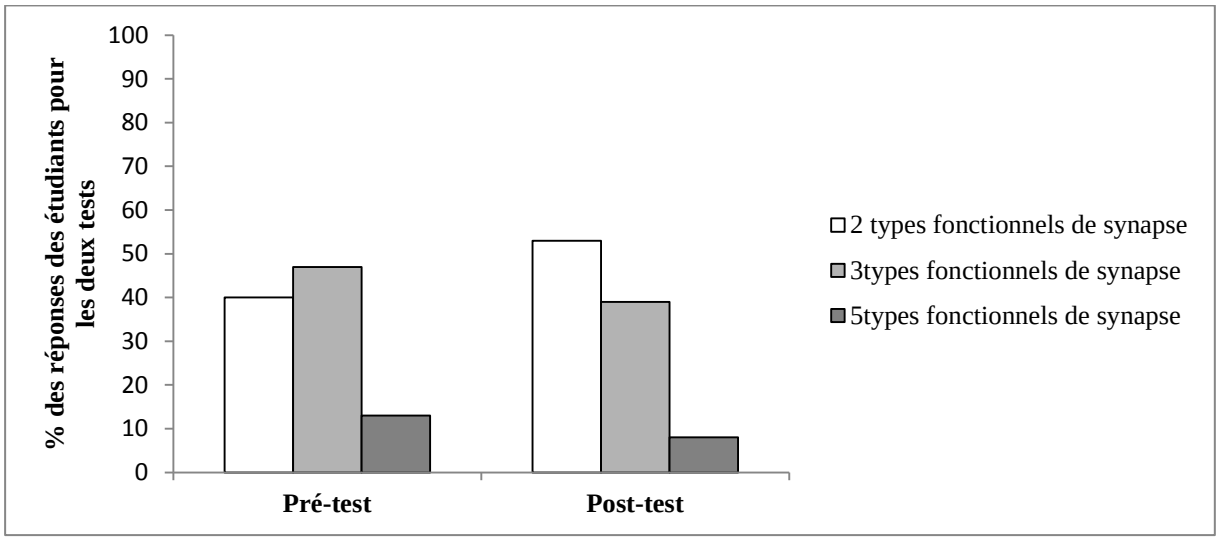


Figure 29: Pourcentages des réponses des étudiants concernant le nombre du type fonctionnel de la synapse.

- **Q6. Le schéma de la synapse**

Dans la question 6 (Q6), il a été demandé aux étudiants de donner le schéma d'une synapse. Les résultats obtenus montrent que la majorité des étudiants en amont de l'enseignement de la neurotransmission (94%) n'a pas pu tracer le schéma correct de la synapse (Fig. 30). En aval de cet enseignement, même s'il ya une petite amélioration, le pourcentage des étudiants n'ayant pas pu schématiser la synapse reste majoritaire et atteint (64%) (Fig. 30).

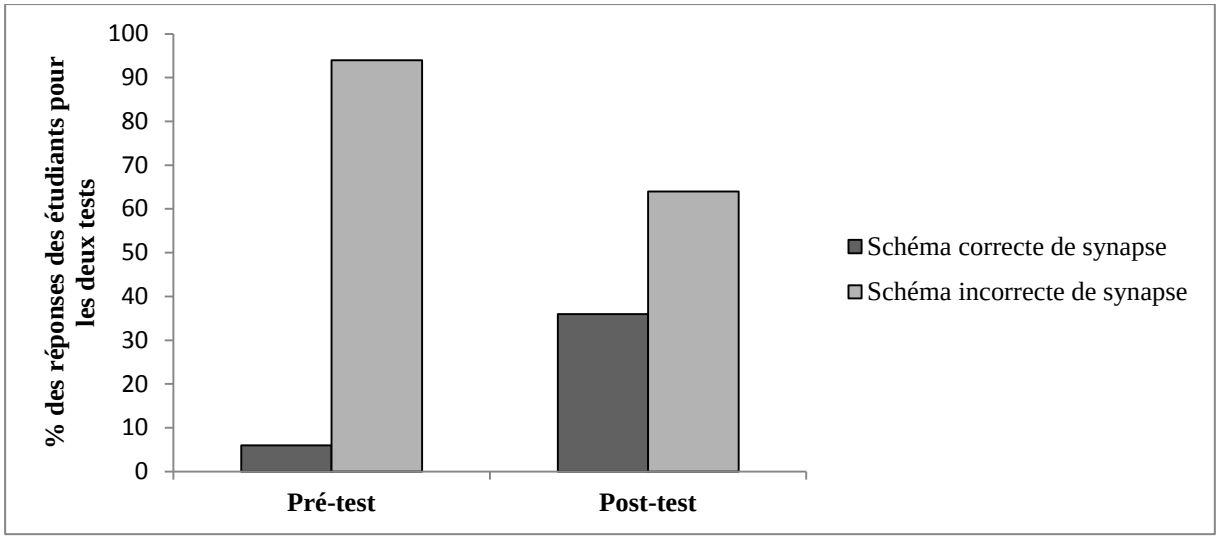


Figure 30: Pourcentages des réponses des étudiants concernant le schéma de la synapse

- **Q7. La définition du neurone**

La question 7(Q7) s'articule autour du concept du neurone. Un étudiant ayant bien acquis ce concept, doit cocher simultanément les deux propositions correctes et complémentaires (a+ c) à savoir que le neurone est une cellule nerveuse composée d'un noyau entouré de structures en forme d'étoiles nommés dendrites et d'un long prolongement qui est l'axone(a) et qu'elle est dotée de propriétés spécifiques: excitabilité, propagation et transmission de l'influx nerveux (c). Cela est le cas pour 26% étudiants interrogés, ce qui semble indiquer que le concept du neurone est non acquis. Il faut noter que 64% des étudiants ont choisi la définition (a) qui consiste en la description anatomique du neurone, ces étudiants se sont donc limités au niveau déclaratif du concept. Alors que, 8% des étudiants ont choisis la définition (c) du neurone, ce qui laisse leurs réponses incomplètes. Pour le reste des étudiants (2%), a opté pour la réponse incorrecte (b) à savoir que le neurone est la seule cellule qui constitue notre cerveau (Fig. 31).

En aval de cet enseignement, nous avons noté une augmentation dans le pourcentage des réponses correctes qui atteint (50%), là où les étudiants ont coché les deux définitions (a+c)

pour donner la définition complète du concept de neurone. A l'opposé, 47% des étudiants ont coché une seule proposition correcte dont 40% des étudiants qui ont choisi la proposition (a) et 7% des étudiants ont opté pour la proposition (c), mais cette proposition reste incomplète pour acquérir totalement le concept du neurone.Les résultats obtenus montrent qu'à priori les étudiants ont pu atteindre un niveau de conceptualisation leur permettant d'acquérir le concept du neurone (Fig. 31).

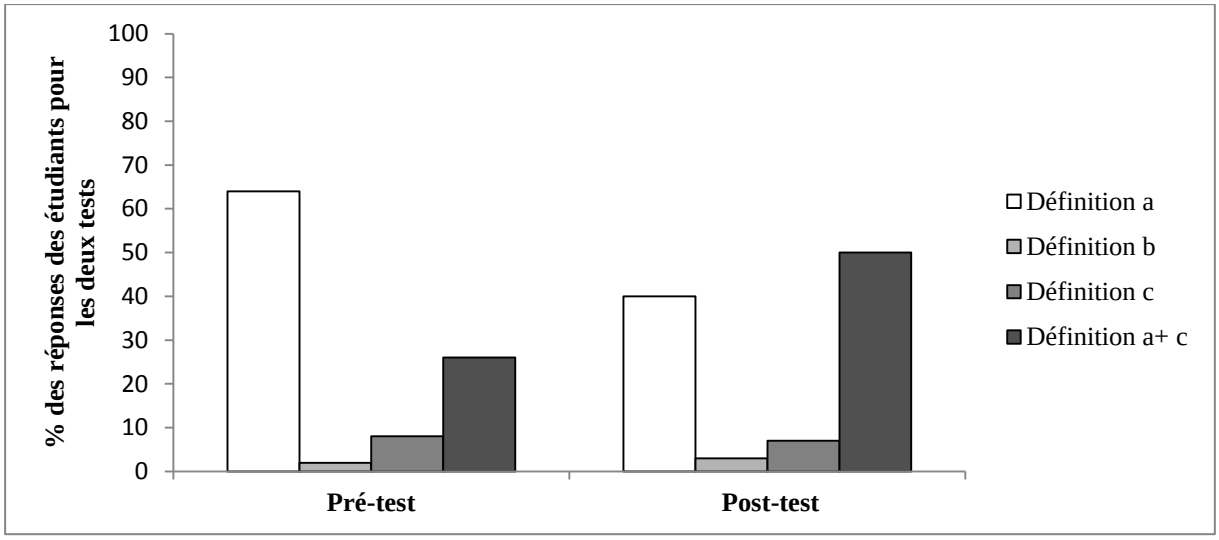


Figure 31: Pourcentages des réponses des étudiants sur la définition du neurone

- **Q8. Le schéma du neurone**

La question 8 (Q8) consiste à donner le schéma du neurone. Les réponses vont dans le sens de celle de la question précédente de la synapse à savoir que les étudiants interrogés n'ont pas vraiment la compétence de schématiser le concept du neurone. En effet, dans les deux tests (pré-test et post-test) plus de la moitié des étudiants, (62%) dans le pré-test et (58%) dans le post-test, n'a pas pu donner le schéma correctdu neurone (Fig. 32).

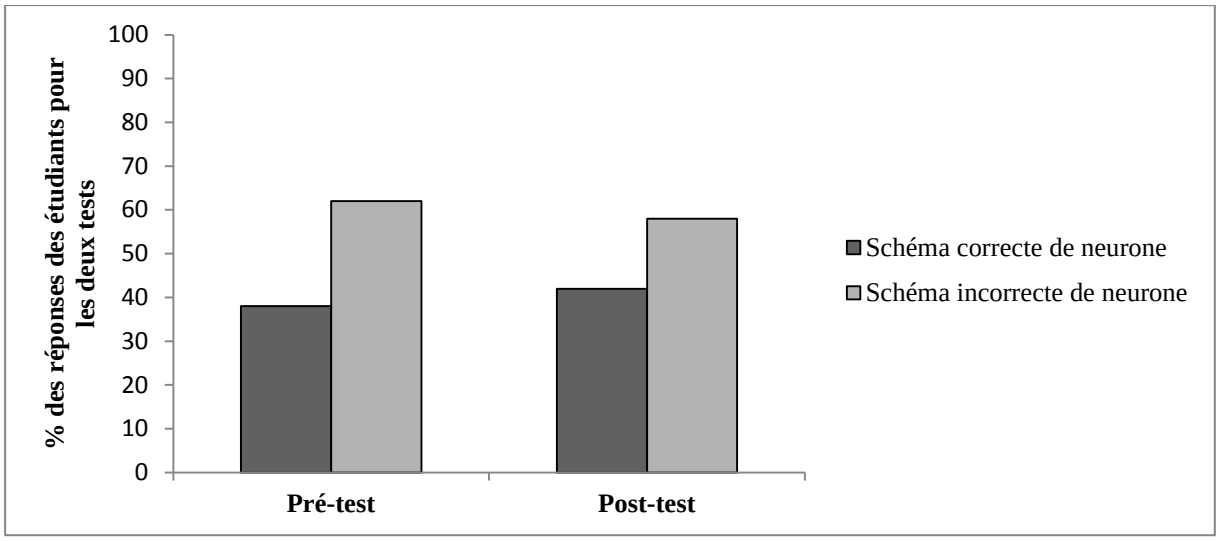


Figure 32: Pourcentages des réponses des étudiants concernant le schéma du neurone

- **Q9. La définition du neurotransmetteur**

Dans la question 9 (Q9), il a été demandé aux étudiants de définir le concept du neurotransmetteur. 73% des étudiants ont proposé des définitions incorrectes du neurotransmetteur. Il faut noter que seuls 27 % des étudiants enquêtés ont proposé des formulations plus ou moins correctes à savoir que le neurotransmetteur est une substance chimique synthétisée par un neurone au niveau d'une synapse et capable de transmettre ou transporter l'information (influx nerveux) d'un neurone vers une cellule cible. Cette définition n'a été formulée que par 9% de la population interrogée. Quant au 18% des étudiants restants, ils ont donné des fragments de définition (le neurotransmetteur est une substance chimique pour 8% des étudiants;une substance chimique synthétisée par un neurone pour 5% des étudiants et il transmet l'information d'un neurone à l'autre pour 5% des étudiants restants) (Fig. 33).

Ce constat est amélioré après l'enseignement du concept en adoptant la nouvelle démarche interactive, on a noté une diminution dans le pourcentage des définitions incorrectes du neurotransmetteur qui atteint (42%) et une augmentation dans le pourcentage des étudiants ayant formulé des réponses correctes complètes ou incomplètes qui atteint (58%) (Fig. 33).

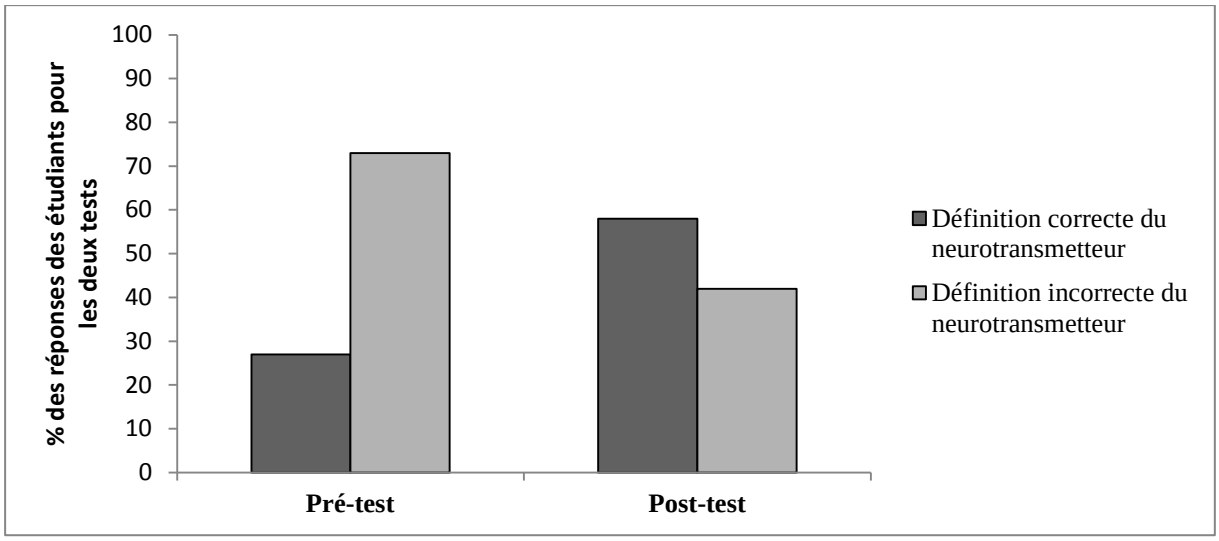


Figure 33: Pourcentages des réponses des étudiants concernant la définition du neurotransmetteur

- **Q10. La définition de la neurotransmission**

Dans la question 10 (Q10), les étudiants ont été appelés à définir le concept de la neurotransmission. En amont de cet enseignement, la majorité des étudiants (82%) a donné une définition incorrecte du concept dont 34% de ces étudiantsdéfinissent la neurotransmission comme une synapse et les autres étudiants (48%) la perçoivent comme un influx nerveux. A l'opposé, 18% des étudiants interrogés ont pu donner une définition correcte du concept de la neurotransmission à savoir qu'elle désigne le passage de l'influx nerveux à travers une synapse grâce à la libération d'un neurotransmetteur libéré dans la fente synaptique et fixé par des récepteurs spécifiques présents sur la surface post-synaptique (Fig. 34).

En aval de l'enseignement de la neurotransmission, on note qu'il a une augmentation dans le pourcentage des étudiants interrogés qui ont formuléla définition correcte du concept de la neurotransmission et qui atteint (55%). D'après cette question, il ressort que plus la moitié des étudiants interrogés a bien intégré le concept de la neurotransmission après son enseignement renforcée par l'adoption d'une démarche interactive dans le cours (Fig. 34).

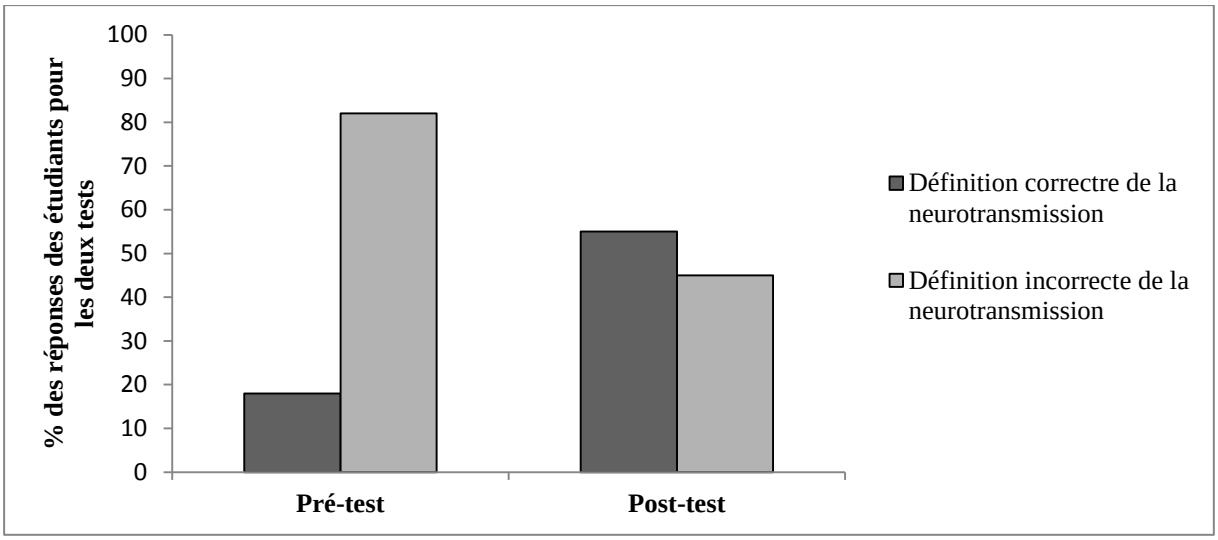


Figure 34: Pourcentages des réponses des étudiants concernant la définition de la neurotransmission

Les résultats obtenus en amont (pré-test) de l'enseignement de la neurotransmission montrent que la valeur moyenne du pourcentage de réponses incorrectes des étudiants atteint 65% alors que le pourcentage de réponses correctes enregistre une valeur moyenne de 33%. En effet, cela indique qu'il y a une prédominance d'idées fausses chez ces étudiants (Fig. 35).

Les résultats du post-test montrent qu'il existe une différence significative entre les valeurs moyennes des pourcentages des réponses correctes et des réponses incorrectes. De plus, il y a une augmentation significative de la valeur moyenne des pourcentages de réponses correctes qui atteint 60%. Au contraire, il y a une diminution qui atteint 40% de la valeur moyenne des pourcentages de réponses incorrectes (Fig. 35).

Ces données montrent une évolution positive et significative des conceptions des étudiants après l'adoption d'une démarche interactive dans l'enseignement de la neurotransmission. Il semble qu'ils ont atteint un niveau acceptable de conceptualisation leur permettant d'assimiler le concept de neurotransmission et ses concepts associés.

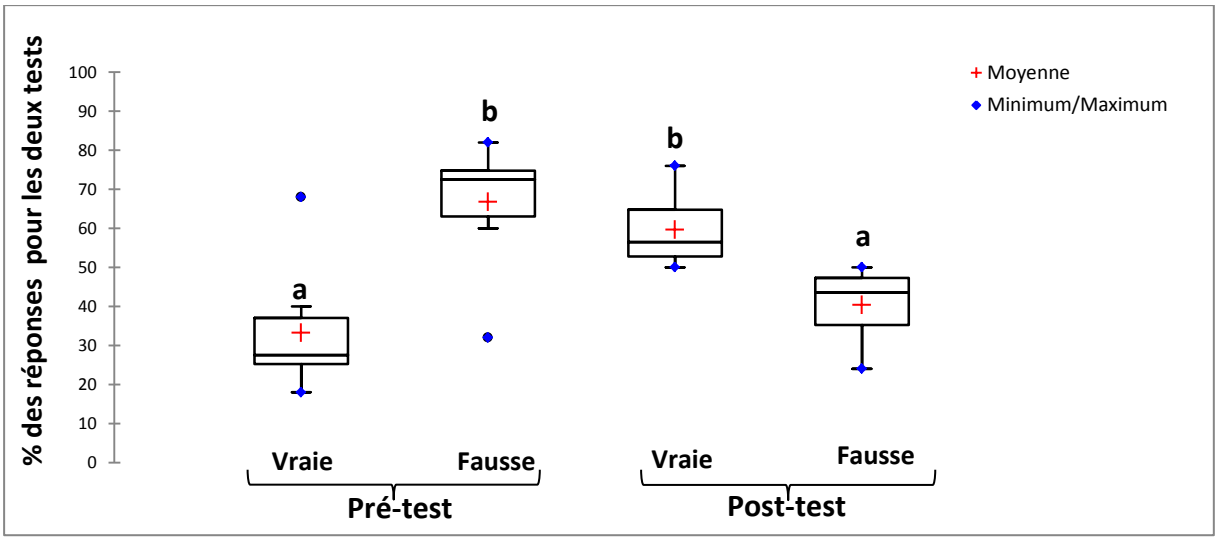


Figure 35 : Pourcentages des réponses des étudiants en amont (pré-test) et en aval (post-test) de l'enseignement de la neurotransmission.

III. Discussion

Les résultats obtenus du premier questionnaire (pré-test), mettent en évidence une dominance des conceptions erronéesou incomplètes sur les concepts liés à la neurotransmission et cela chez la majorité des étudiants interrogés.

En effet, pour les deux questions (Q1) et (Q2), on note une dominance de la conception électrique (propagationet nature du message nerveux). Ce constatpeut être expliqué par le fait que ces notions sont introduites pour la première fois au secondaire (1ère année du baccalauréat Sciences de la Vie et de la Terre) par le registre électrique, les étudiants restent doncfocalisés sur l'électrique même s'ils ont abordé la partie chimique du concept.Ce même constat a été fait par Laribi et al. (2010) dans l'explication de la construction d'une conception de la transmission du message nerveux par les élèves du Lycée ce qui met en évidence la persistance de la conception électrique.

Les réponses des étudiants sur les questions (Q4), (Q5) et (Q6) au sujet de la synapse (la définition, le nombre de synapse et le schéma type de synapse) et (Q7) et (Q8) concernant la définition du concept « neurone » et son schéma explicatif, montrent que ces deux conceptsne sont pas assimilés par la totalité des étudiants puisqu'ils n'ont pas donné les définitions correctes et n'ont pas pu schématiser ces concepts.

Pour les résultats des deux questions ouvertes (Q9) et (Q10), il semble que la majorité des étudiants interrogés n'a pas intégré la conception chimique pour pouvoir définircorrectement lesconceptsdu neurotransmetteur et de la neurotransmission.Une partie des étudiants

interrogés confondent le neurotransmetteur avec le neurone et la neurotransmission avec la synapse. Ces confusionssemblentmontrerque ces étudiants ont des problèmes liés au vocabulaire scientifique utilisé (Thouin, 2004). Certains étudiants ont essayé de définir les deux concepts (neurotransmetteur et neurotransmission), mais leurs propositionsrestent des réponses fragmentées ce qui montre que leur savoir scientifique sur les notions en question n'est pas bien structuré et n'est pas cohérent. Ce constat est confirmé par des données de la littérature (Bec & Favre, 1996; Laribi et al., 2010; Sadi, 2014) qui mettent en évidence que les étudiants n'arrivent pas à établir des liens entre les concepts associés dans le but de résoudre des problèmes complexes.

Ce constat semble mettre en évidence que les étudiants vont aborder leur cours sur la neurotransmission avec des conceptions susceptibles d'entraver l'apprentissage et l'approfondissement de ce contenu. Cela a été le cas dans l'année précédente (2015-2016) où le cours été dispensé de manière classique et où aucun changement dans les réponses des étudiants au terme du cours n'a été noté.

Dans l'expérimentation en cours de cette année, le même test a été administré aux étudiants à la fin du cours. Contrairement à l'année précédente lesdonnéesdu post-test semblent indiquer une performance des étudiants et un changement conceptuel chez ces derniers.

En effet, pour les deux questions (Q1) et (Q2), le pourcentage des réponses correctes ayant augmenté indiquent qu'ils ont intégré plus la conception chimique dans leur interprétation du concept de la neurotransmission. A priori, ces étudiantsont pu dépasser leurs conceptions antérieures et ont pu construire un savoir cohérent relatif au concept de la neurotransmission après l'adoption d'une démarche pédagogique appropriée, ce qui va dans le sens des données de l'étude menée par Potvin et Thouin (2003) sur la compréhension qualitative de notions de physique-mécanique et qui a indiqué une évolution dans les conceptions des apprenants en adoptant une démarche appropriée au niveau cognitif de ces apprenants**.**

La progression dans les conceptions a également été notée dans les questions(Q3), (Q4) et (Q5) sur le concept de la synapse et (Q7) sur celui du neurone. Ces deux concepts semblent être maitrisés par la moitié de la population interrogée. Le même constat est noté dans le cas des deux dernières questions ouvertes (Q9) et (Q10) où les étudiants ont pu mieux définir les notions du neurotransmetteur et de la neurotransmission. On a noté une évolution dans les conceptions correctes des étudiants, ce qui pointe l'impact positif de la démarche pédagogique interactivesur l'évolution des conceptions des étudiants. Ce constat est conforme

avec les résultats de l'étude de Hake (1998) qui a comparé les résultats des étudiants à des examens traditionnels et à ceux d'évaluations conceptuelles en physique et qui lui a permis de mettre en évidence l'effet positif d'un enseignement tourné vers la remédiation des conceptions ainsi que sa participation dans la réalisation d'un apprentissage efficace.

L'évolution des conceptions est moins apparente dans les questions (Q6) et (Q8) invitant les étudiants à donner des schémas explicatifs de la synapse et du neurone. En effet, les étudiants semblent ne pas avoir développé la compétence de schématiser ces concepts, ce qui va dans le sens de l'étude de Kaddari (2005) mettant en évidence les difficultés de la perception iconique chez les étudiants à l'université.

Ces données montrent une évolution positive et significative dans les conceptions des étudiants et qui met en évidence l'effet positif de cette démarche pédagogique appropriée qui tient en compte des conceptions des étudiants et tente d'y remédier. Il semble donc que ces derniers ont pu atteindre un niveau de conceptualisation acceptable et ont assimilé le concept de la neurotransmission et ses concepts associés. Ce qui va dans le sens de ce que disait Clément (1998) que les changements conceptuels sont plus faciles à obtenir chez les apprenants quand il s'agit d'acquisition de connaissances biologiques malgré les difficultés relatives aux conceptions et obstacles.

Le processus du changement conceptuel a eu donc lieu, ce qui valide l'hypothèse à l'origine de cette expérimentationet stipulant que l'adoption d'une démarche interactive dans l'enseignement de la neurotransmission pourrait aider les étudiants à progresser et à dépasser le savoir fragmenté pour arriver à construire un savoir scientifique structuré et cohérent (DiSessa, 2002).

Les résultats de cette expérience confirment les réflexions de DiSessa (1993, 1996) selon lesquelles les conceptions seraient plutôt construites lorsqu'elles seraient sollicitées. Ainsi, nous pouvons stimuler le processus de changement conceptuel chez les étudiants afin qu'ils construisent et reconstruisent en permanence des explications qui servent à interpréter et à comprendre les concepts étudiés et à aller au-delà des ensembles statiques et rigides de conceptions anciennes et enracinées.

IV. Comparaison des réponses des étudiants pour les deux promotions 2015-2016 et 2016-2017

D'après le tableau 10, nous constatons que dans le cas des étudiants de la promotion 2015-2016 qui ont eu un enseignement de la neurotransmission selon le modèle transmissif, les réponses données en amont de l'enseignement sont presque les mêmes que celles d'après l'enseignement de ce contenu à l'université. Nous avons même enregistré une augmentation dans les réponses fausses après l'enseignement du concept, ce qui révèle que la séquence d'apprentissage a eu un effet limité sur l'évolution des conceptions des étudiants.

En effet, les résultats obtenus montrent une stagnation des conceptions des étudiants, ce qui montre qu'à priori les objectifs d'apprentissage n'ont pas été atteints. Ce constat corrobore les avancés des chercheurs qui pointent les limites du modèle transmissif. En fait, les chercheurs comme Felouzis (2003) ont souligné que le modèle pédagogique traditionnel transmissif basé sur la transmission linéaire des savoirs s'avère de plus en plus inadéquat et inadapté aux nouveaux enjeux de formation et à la nature de la population étudiante actuelle.

Les appels à l'innovation pédagogique insistent sur le fait de favoriser de nouvelles formes d'apprentissage et de nouveaux modes d'enseignement fondés sur des approches centrées sur l'étudiant. Elles préconisent un déplacement du focus mis sur l'enseignant et ce qu'il enseigne vers l'étudiant et ce qu'il apprend (Bertrand, 2014). Dans l'expérimentation menée en 2016-2017, nous avons adopté une démarche interactive basée sur la prise en compte des conceptions des étudiants concernant la neurotransmission et aussi sur l'investigation et le questionnement.

Les résultats obtenus en pré-test sont presque les mêmes que ceux obtenus dans l'année précédente, cela révèle que les étudiants interrogés vont aborder le cours de la neurotransmission avec des conceptions susceptibles d'entraver l'apprentissage et l'approfondissement de ce contenu. Par contre, les données du post-test montrent une performance et une progression dans les conceptions des étudiants après l'adoption de la démarche interactive dans l'apprentissage du concept de la neurotransmission. Ces résultats pointent l'effet positif de la démarche interactive sur l'évolution des conceptions des étudiants dans le sens de construire un savoir adéquat et cohérent de la neurotransmission (Tableau 10).

Tableau 10 : Pourcentages des réponses des étudiants pour chaque test pour les deux années universitaire 2015-2016 et 2016-2017.

Questions	Modalités de réponses	% des réponses des étudiants en 2015-2016		% des réponses des étudiants en 2016-2017	
		Pré-test	Post-test	Pré-test	Post-test
Q1	Vraie	28	38	28	63
	Fausse	72	62	72	37
Q2	Vraie	33	27	23	76
	Fausse	67	73	77	24
Q3	Vraie	76	74	68	70
	Fausse	24	26	32	30
Q4	Vraie	52	39	36	52
	Fausse	48	61	64	48
Q5	Vraie	40	39	40	53
	Fausse	60	61	60	47
Q6	Vraie	5	8	6	36
	Fausse	95	92	94	64
Q7	Vraie	21	32	26	50
	Fausse	79	68	74	50
Q8	Vraie	31	18	38	42
	Fausse	69	82	62	58
Q9	Vraie	36	23	27	58
	Fausse	64	77	73	42
Q10	Vraie	9	10	18	55
	Fausse	91	90	82	45

Les résultats obtenus en amont de l'enseignement de la neurotransmission (Fig. 36) montrent que les valeurs moyennes du pourcentage des réponses incorrectes atteignent 65% pour les étudiants des deux promotions, alors, que les pourcentages des réponses correctes enregistrent des valeurs moyennes de 33% dans les deux promotions. En effet, cela indique qu'il y a une prédominance des réponses fausses par rapport aux réponses correctes. Cela souligne que les

étudiants enquêtés dans les deux promotions restent raccrochés à leurs pré-requis ainsi qu'ils vont aborder le cours avec des conceptions erronées sur la neurotransmission (Fig. 36).

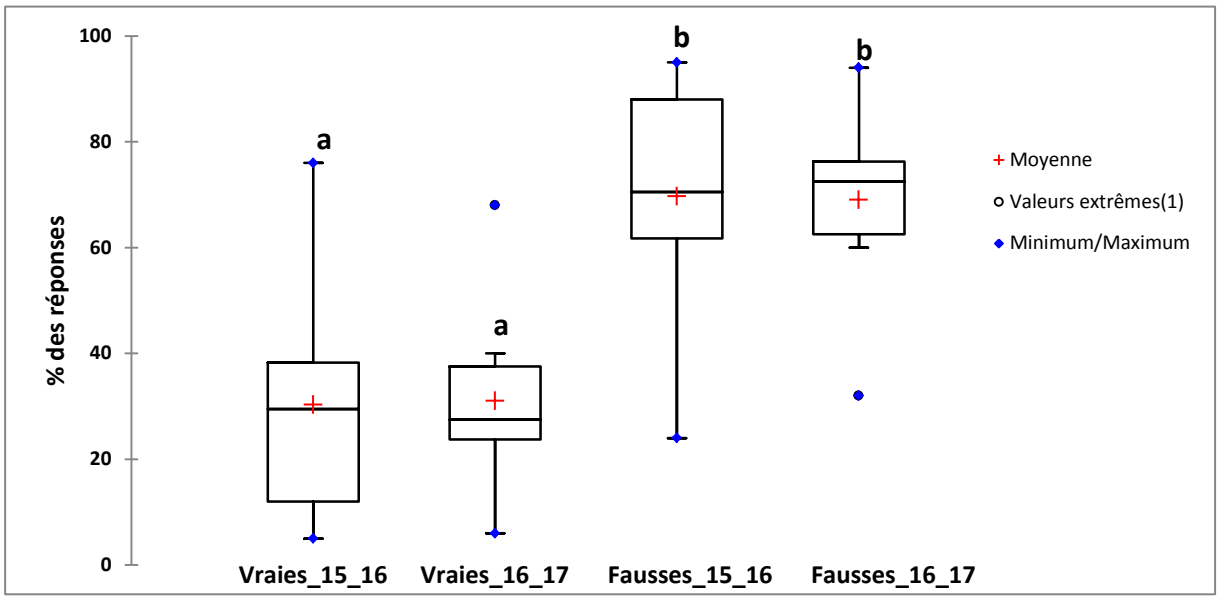


Figure 36 : Pourcentages des réponses des étudiants en Pré-test pour les deux promotions 2015-2016 et 2016-2017.

Les données obtenues des réponses des étudiants en post-test (Fig. 37), montrent qu'il y a une différence significative entre les valeurs moyennes des pourcentages des réponses correctes et des réponses incorrectes dans les deux promotions. Du fait, que dans l'expérimentation de l'année 2016-2017, il y a une augmentation des réponses correctes par rapport aux réponses incorrectes. Alors que dans l'expérimentation de l'année précédente (2015-2016), toujours on a la dominance des réponses fausses dans les réponses des étudiants enquêtés. En effet, la comparaison entre les deux promotions pointe l'effet positif de la démarche interactive sur la progression des conceptions correctes des étudiants de la promotion 2016-2017. Cela est traduit par a une évolution significative des conceptions correctes de la promotion 2016-2017 par rapport à l'ancienne promotion à savoir 2015-2016.

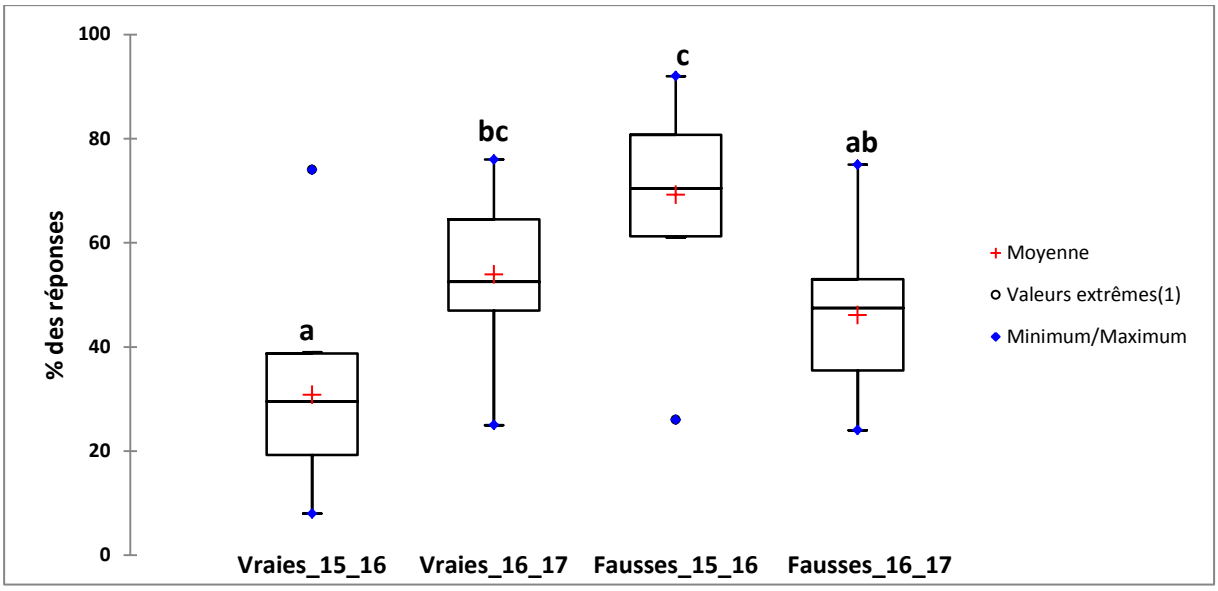


Figure 37 : Pourcentages des réponses des étudiants en Post-test pour les deux promotions 2015-2016 et 2016-2017.

Conclusion

A l'issu des données obtenues dans cette expérimentation, on peut dire que comme cela a été mentionné par plusieurs chercheurs, le savoir des étudiants entamant le cursus universitaire est souvent sur estimés. En effet, Selon les données du pré-test, les bases de la neurotransmission sont loin d'être assimilées par les étudiants même s'ils ont déjà étudié ces notions au lycée. La persistance de connaissances pré-requises, la prédominance d'idées fausses sur le concept de la neurotransmission chez ces étudiants et la difficulté de schématiser les concepts sont des difficultés susceptibles d'entraver l'apprentissage et l'approfondissement de ce contenu par ces apprenants.

L'hypothèse donc à l'origine de ce travail est l'adoption d'une démarche interactive basée sur une stratégie de prise en compte des conceptions initiales peut aider à une meilleure assimilation des notions en question. Le modèle appliqué est inspiré des modèles de la pédagogie active tels que le modèle de Hewson et Thorley (1989) et le modèle de Hewson, Beeth et Thorley (1998). Le fondement de la méthode est de provoquer un conflit cognitif chez les apprenants, d'abord par inviter les étudiants à exprimer leurs conceptions par rapport à un concept donné, puis de leur présenter une démonstration opposée à leurs conceptions initiales. Le conflit cognitif qui en résulte provoque alors de l'insatisfaction. En effet, l'insatisfaction des étudiants à l'égard de leurs propres conceptions engendre une motivation intrinsèque qui les amène à rechercher des solutions innovantes pour acquérir et construire un savoir adéquat et proche de la réalité scientifique.

Les résultats obtenus (post-test) après l'enseignement selon la démarche interactive dans l'apprentissage de la neurotransmission mettent en évidence une évolution significative dans les conceptions des étudiants, ce qui indique un effet positif de la démarche sur les apprentissages. En revanche, les données du questionnaire passé aux étudiants ayant reçu le cours via le modèle transmissif normal semble indiquer une stagnation des conceptions et un apprentissage assez limité.

Enfin, même si les facteurs intervenants dans une action éducation notamment dans la transmission des connaissances sont multiples et variés et donc, on ne peut attribuer l'échec ou la réussite à un seul facteur isolé, les résultats de cette recherche mettent en évidence que la démarche pédagogique peut jouer un rôle fondamental dans les apprentissages.

Conclusion générale: Bilan & Propositions

Ce travail trouve son origine dans des observations et des constats relatifs à l'enseignement/apprentissage de la neurotransmission au premier cycle universitaire. Ces constats ont révélé de façon quasi unanime que ce concept est perçu comme ardu et difficile à approprier par les étudiants.

La recherche bibliographique effectuée et les révélations des enseignants responsables de la matière nous ont mené à formuler notre questionnement général :

Quelles répercussions sur le savoir « Neurotransmission » acquis par les Apprenants-Etudiants:

- ***Du savoir enseigné et son origine ;***
- ***Des pré-acquis et conceptions***
- ***Des choix méthodologiques et des démarches d'enseignements adoptés.***

Sur la base de ce questionnement général, nous avons émis les hypothèses suivantes :

Hypothèse H1: Les conceptions alternatives constituent un obstacle à l'apprentissage du concept de la neurotransmission.

Hypothèse H2: L'obstacle linguistique peut entraver l'apprentissage des concepts scientifiques en biologie par les étudiants et plus particulièrement celui de la neurotransmission.

Hypothèse H3: Les nouvelles démarches pédagogiques adoptées dans l'enseignement/ apprentissage de la neurotransmission peuvent avoir un impact positif engendrant le changement conceptuel chez les étudiants.

Hypothèse H4: L'enseignement du concept de la neurotransmission à l'université ainsi que ses concepts organisateurs génèrent leurs propres obstacles de nature épistémologique et didactique.

Afin de contribuer à l'apport d'éléments de réponse à ces hypothèses, nos investigations se sont situées au niveau de trois composantes de la relation didactique, à savoir: le savoir savant, l'enseignant via le savoir à enseigner et le savoir enseigné et l'étudiant via ses conceptions et la mesure du savoir appris.

Les conclusions de nos investigations seront exposées en deux parties :

- Dans la première partie, nous résumons les résultats obtenus en rapport avec notre méthodologie de travail.
- Dans la deuxième partie, nous développons quelques propositions en rapport avec notre sujet de recherche à savoir la neurotransmission.

A- Première partie: nos hypothèses sont-elles vérifiées?

Au cours de ce travail, nous avons analysé différents types de savoir relative à la neurotransmission, depuis celui réputé savant jusqu'à celui en construction chez les étudiants du premier cycle universitaire, en nous attardant longuement sur les savoirs en cours d'apprentissage, qui constituent la base préalable à tout approfondissement.

- **Savoir réputé savant : Histoire et épistémologie**

En adoptant la classification de Bachelard (1940), nous avons tracé l'histoire et l'épistémologie du concept « Neurotransmission » selon trois âges: âge pré-scientifique, âge scientifique et la nouvelle ère scientifique.

Cette histoire que nous avons bien développée dans le chapitre IV regorge d'enseignements pour les formateurs et les apprenants en sciences. Elle a montré que le savoir ne s'acquiert pas d'emblée mais qu'il s'élabore par un long processus de conjectures et réfutations. En effet, la théorie de la neurotransmission a connu des avancés et recul, polémiques et controverses, changement de paradigmes

Pendant, son âge pré-scientifique, l'histoire du système nerveux est restée au stade des spéculations et des idées abstraites où les prémices du fonctionnement du système nerveux étaient sans fondement. Les savants de l'antiquité ont considéré le cerveau comme étant l'organe de la pensée et le cœur le siège de l'âme. De ce fait, les connaissances sur le cerveau et le système nerveux ont demeuré au stade approximatif.

Pendant tout son âge scientifique et après une longue période de recherches sur le système nerveux, la biologie nerveuse a pu définir ses propres fonctionnements et cela au début du XIX^{ème} siècle. D'où l'apparition de l'électrophysiologie qui va céder le pas à d'autres recherches qui vont être à la base de la théorie de la neurotransmission.

En effet, il y avait l'opposition de deux théories de la neurotransmission à savoir la théorie électrique et la théorie chimique. En fait, la théorie électrique n'a pas résisté aux tests expérimentaux, à la différence de sa rivale chimique, d'où son rejet par la communauté scientifique. Par ailleurs, la théorie chimique offrait des opportunités de développement dû à la naissance du concept de neurotransmetteur qui par sa validation a donné naissance au concept de la neurotransmission.

L'histoire de la neurotransmission est un domaine d'exploration fascinant qui par le biais de rechercher ses origines, permet de s'élargir dans plusieurs directions allant du plan

moléculaire vers une histoire de communication biologique, qui sera témoin de la naissance d'un champ des neurosciences s'annonçant passionnant et en même temps difficile.

En mettant, à la disposition de la recherche scientifique d'immenses champs d'investigations, l'étude de la neurotransmission a mené à l'ouverture et au développement de nouveaux espaces conceptuels complexes tels que les neurosciences cognitives et la neuroéducation.

De ce fait, la neurotransmission constitue une réponse satisfaisante à un ensemble de questions formulées et inscrites dans un contexte scientifique historiquement bien défini. L'étude historique a montré que l'histoire de la neurotransmission n'est pas linéaire et n'est pas théoriquement isolée, elle s'est tissée au fil des années par des avancées et reculs, distorsions et polémiques, confluences et anti-ramifications.

Ce constat nous permet de mieux cerner le rapport au savoir et donc mieux comprendre les difficultés et les obstacles à le transmettre et de ce fait mieux aider l'apprenant à mieux gérer son propre apprentissage.

- **Epistémologie scolaire: Savoir à enseigner et savoir enseigné**

Au terme des différentes analyses du savoir à enseigner et du savoir enseigné effectuées, nous avons pu mieux cerner les composantes du savoir neurophysiologie traitant le concept de la neurotransmission destiné au premier cycle universitaire.

La finalité du chapitre V était de tracer les grandes lignes de l'histoire dans laquelle s'insère la neurophysiologie en tant qu'objet d'enseignement présenté dans les amphithéâtres universitaires. Ainsi, ont été analysés huit ouvrages de référence choisis de manière à ce que les années d'édition couvrent une longue période. Cette analyse nous a permis de mettre en évidence la présence d'une rupture de la transposition didactique qui a marqué l'évolution de ce contenu durant les années. Cela s'est manifesté par des différences des présentations et des démarches adoptées tant au niveau des entrées en matière qu'au niveau du corps de discours, selon que l'ouvrage est édité avant ou après 1990.

Il ressort de cette analyse qu'il y a une nouvelle réorganisation du contenu de la neurotransmission avec l'apparition d'une nouvelle démarche dans la présentation de ce contenu. Cette réorganisation est située vers les années 90 où le savoir savant de la neurotransmission reconnu par la communauté scientifique était beaucoup plus une propriété des chercheurs. En effet, il existait une différence de contenus entre les anciens ouvrages de

référence (édités avant 1990) et les ouvrages récents (édités après 1990). Cette différence marque une évolution de la transposition didactique dans le temps. Cela est traduit par les adaptations et les changements du contenu de la neurotransmission pour passer d'un savoir savant dans les ouvrages anciens à un savoir à enseigner dans les ouvrages récents et aussi il est recontextualisé dans transposition didactique appropriée à son enseignement à l'université.

En effet, les ouvrages anciens (A, B et C) ont montré une fidélité des auteurs à la démarche historique et hypothétique alors que les ouvrages récents (D, E, F, G et H) laissent clairement voir que les auteurs ont adopté une démarche pédagogique basée sur des approches synthétiques et expérimentales pour présenter le contenu de la neurotransmission.

Aussi, cette analyse a mis en évidence une similitude entre l'ensemble des ouvrages analysés édités avant ou après 1990. Du fait que dans tous ces ouvrages, il y a une focalisation sur la nature électrique du message nerveux à savoir la naissance et la propagation de l'information nerveuse au détriment de la partie chimique à savoir la transmission synaptique. Cette nature électrique du message nerveux occupe une place important dans le récit de tous les ouvrages.

Dans l'objectif d'analyser le savoir enseigné, nous avons effectué une étude descriptive de deux dispositifs destinés à l'enseignement de la neurotransmission au premier cycle universitaire dans la filière des Sciences de la Vie au sein de la Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, pour les deux années universitaires 2015-2016 et 2016-2017.Ce regard sur le contenu enseigné, nous a permis de dire que les deux supports convergent vers une approche synthétique du concept de la neurotransmission et ses concepts associés. Le contenu des deux dispositifs s'aligne sur les ouvrages de référence récents édités après 1990, notamment les ouvrages de référence E, F et H.

- **Obstacles et difficultés relatives à l'apprentissage de la neurotransmission**

A travers la première expérimentation, nous visons approcher l'impact de la langue française sur les apprentissages des étudiants à l'université, en particulier dans la filière des Sciences de la Vie. Le choix de réaliser cette étude exploratoire a été motivé par le constat alarmant issu de la première expérimentation menée auprès des étudiants de la filière Sciences de la Vie au sein de la faculté des Sciences Dhar El Mahraz et qui a mis en exergue les difficultés linguistiques pouvant entraver leurs apprentissages des contenus scientifiques.

Le questionnaire était composé d'un ensemble de questions à choix multiples (QCM). Il a été administré auprès de 100 étudiants de la filière Sciences de la Vie (SVI) au sein de la Faculté des Sciences Dhar El Mahraz.

La première conclusion que nous avons déduit stipulant que les étudiants étaient bien conscients de l'importance du français dans leurs études universitaires, cependant la plupart étaient démunis face à cela. En effet, la majorité des étudiants semblaient n'avoir ni les bases ni les outils pour comprendre les cours ou pouvoir communiquer dans un milieu scientifique particulièrement exigeant. Le second constat issu de cette étude est que les étudiants estimaient qu'à priori, les cours de Langues et de Terminologie étaient insuffisants car ils n'étaient pas appropriés à leurs besoins et à leurs attenteset ne leur portaient aucune aide dansla compréhension des disciplines scientifiques enseignées à l'université. Enfin de selon cette étude, les étudiants s'affrontent à un ensemble de problèmes relatifs à leur apprentissage, notamment des difficultés linguistiques qui freinaient les processus d'acquisition des Sciences de la Vie (SVI).

Afin d'avoir un aperçu sur l'évolution des conceptions des étudiants du Semestre 4 de la filière Sciences de la Vie sur la neurotransmission, nous avons réalisé une expérimentation durant l'année universitaire 2015-2016 par le biais d'un questionnaire sous forme d'un test proposé aux étudiants en amont et en aval de l'enseignement et de l'apprentissage de la neurotransmission. La finalité de cette expérimentation est la mise en évidence des difficultés et obstacles potentielles susceptibles d'entraver l'évolution desconceptions des étudiants vers un apprentissage effectif de la neurotransmission. Il faut noter que ce questionnaire a été élaboré en deux étapes. En effet, dans un premier temps, on s'est appuyé sur le programme et les supports du cours rédigés par les enseignants de la matière afin de voir comment le concept est définit et présenté. Dans un second temps, on a analysé le contenu relatif à cette notion à savoir la neurotransmission dans le programme du secondaire (Lycée), dans le but d'avoir un aperçu sur le profil conceptuel "attendu" et sur les pré-requis estimés chez les étudiants entamant le cursus universitaire.

Sur la base de ces investigations dans les contenus d'enseignement destinés aux élèves (niveau secondaire) et aux étudiants (université), nous avons élaboré l'outil de diagnostic qui est un questionnaire s'articulant autour des notions fondamentales basiques de la neurotransmission et donc autour des connaissances que doit posséder un individu de formation biologiste.

L'analyse des résultats des étudiants, en amont et en aval de l'enseignement/apprentissage de la neurotransmission, a permis de constater que pour la majorité des étudiants interrogés:

- La propagation de l'influx nerveux se fait d'une manière continue (Q1) et que le message nerveux est de nature électrique (Q2). Ces résultats mettaient en évidence la persistance de la conception électrique chez ces étudiants et donc la résistance de leurs pré-acquis enracinés depuis les classes du Secondaire. En effet, l'examen du contenu du manuel scolaire (1ère année du baccalauréat Sciences de la Vie et de la Terre) traitant le concept de la neurotransmission nous a permis de repérer une focalisation sur la nature électrique du message nerveux, ce qui peut expliquer la dominance de ces conceptions chez ces étudiants interrogés.
- la persistance des conceptions alternatives de nature erronées chez la majorité d'étudiants interrogés et cela pour: le concept de la synapse (la définition, le nombre de synapse) dans les questions (Q4), (Q5) et la question (Q7) portant sur le concept du neurone. En fait, les données obtenues semblent indiquer d'une part que ces notions ne sont pas assimilées depuis les classes de secondaireet d'autre part, que la séquence d'apprentissage à l'université a un effet limité de sur l'appropriation de ces deux notions.
- Aussi, les résultats des questions (Q6) et (Q8), portant sur la schématisation de la synapse et du neurone, ont montré que cette compétencede schématisation n'est pas assez développée chez les étudiants interrogés. Il faut noter que ces étudiants sont dans une formation (SVI) qui se beaucoup sur les représentations iconiques.
- Quant aux résultats des deux questions ouvertes (Q9) et (Q10), il semblait pointer que les étudiants interrogés n'arrivaient pas à intégrer la conception chimique dans leurs apprentissages. pour qu'ils puissent définir le concept du neurotransmetteur et celui de la neurotransmission. Les données de ces deux questions confirment la persistance de la conception électrique présente chez ces étudiants. Ces pré-acquis peuvent constituer un obstacle à l'apprentissage de la neurotransmission en particulier l'appropriation de la conception chimique.

Selon les données obtenues de cette expérimentation, nous pouvons dire que les notions de la neurotransmission sont-à priori loin d'être maitrisées et que la majorité des étudiants semble ne pas assimiler les concepts déjà définis au cours des séquences d'apprentissages en classe du secondaire. En effet, la persistance des pré-acquis, la dominance des conceptions erronées concernant le concept de la neurotransmission chez ces étudiants enquêtés, la difficulté de schématiser les deux concepts à savoir: la synapse et le neurone sont des indicateurs de l'effet limité de la séquence d'apprentissage sur l'appropriation de ce concept.

Les résultats des deux expérimentations ont souligné la présence d'un ensemble de difficultés conceptuelles et langagières chez les étudiants interrogés. Ces difficultés ont bloqué l'assimilation et l'acquisition du concept de la neurotransmission ainsi que ses concepts organisateurs à l'université.Partant de ces résultats, *on peut dire que nos hypothèses **H1** et **H2** sont vérifiées.*

- **Investigation et Interactivité: Deux formes d'enseignement actif**

Le questionnement qui a animé les expérimentations III et IV s'articulent autour des démarches pédagogiques et stratégies d'enseignement.

En effet, la nature de l'enseignement à l'université, fortement marqué par l'omnipotence de la transmission du savoir de type magistral et à sens unique enseignant-étudiant, favorise la marginalisation de l'étudiant et l'ignorance de son rôle dans la construction de son savoir au premier cycle universitaire. La question était donc peut- on pallier aux difficultés et obstacles repérées en amont du cours sur la neurotransmission (première expérimentation et deuxième expérimentation) et ainsi aider les étudiants à mieux s'approprier les concepts de la neurotransmission si on intervient au niveau de la stratégie d'enseignement?

Afin d'avoir des éléments de réponse à ce questionnement, nous avons réalisé deux expérimentations portantes sur les méthodes d'enseignement qui se focalisaient sur l'apprenant et ce qui apprend:

a. Parmi ces méthodes il y a la Démarche d'Investigation très appréciée chez les acteurs de l'éducation en sciences expérimentales et fortement recommandée dans les niveaux primaire-collégial et secondaire. En se basant sur l'investigation, cette méthode aide au développement de l'esprit analyste et critique. L'objectif de cette expérimentation est de voir si les étudiants actuels qui sont des ex-élèves ont été potentiellement mis dans des situations pédagogiques mettant en œuvre l'investigation. Le questionnaire a été donc adressé aux enseignants des matières sciences de la vie et de la terre et des sciences physiques du cycle secondaire. En effet, l'outil de base de cette étude est une enquête sous forme d'un questionnaire suivi des entretiens semi-dirigés. Le questionnaire secomposait de 5 questions dont certaines étaient des questions fermées et d'autres des questions à choix multiples (QCM) demandant aux enseignants de s'exprimer sur la Démarche d'investigation.
b. La quatrième expérimentation relative à la mesure du savoir appris consistait en un test via un questionnaire proposé aux étudiants du niveau de S4 à la faculté des

sciences Dhar El Mahraz.Comme pour la promotion précédente, la passation du questionnaire a eu lieu en amont et en aval de cet enseignement. En fait, l'objectif est de voir si le changement des méthodes pédagogiques a un impact plausible sur les apprentissages. Ainsi, à l'exception de la méthode d'enseignement – cette fois plus interactive- la méthodologie suivie est la même que celle que avons adoptée lors dans la deuxième expérimentation et donc on s'est basé sur le même questionnaire administré aux étudiants durant l'année universitaire 2015-2016.

L'analyse des résultats de l'étude portante sur la Démarche d'Investigation, nous a permis de dégager –via les réponses des enseignants interrogés- un ensemble de contraintes et de difficultés entravant la mise en pratique de la Démarche d'Investigation en classe. Ces contraintes sont liées d'une part, aux représentations erronées des enseignants sur la DI et d'autre part à: la surcharge du programme, la massification des classes et le manque d'autonomie des élèves.

En effet, les confusions et les représentations erronées sur la définition correcte de la Démarche d'Investigation pourrait expliquer le fait que les enseignants aient du mal à la mettre en œuvre, d'autant qu'ils n'ont pas ou peu suivi de formation sur cette nouvelle démarche. Les contraintes énoncées soulignent l'importance de la formation continue des enseignants sur les nouvelles démarches notamment la Démarche d'Investigation. Du fait, que la formation permet à ces derniers d'évoluer et de se sensibiliser aux nouvelles approches pédagogiques pour les adopter dans les enseignements des contenus scientifiques.

Les résultats du premier questionnaire (pré-test) obtenus lors de la quatrième expérimentation, ont mis en évidence une dominance des conceptions erronées sur les concepts liés à la neurotransmission et cela chez la majorité des étudiants interrogés. En effet, Pour les deux questions (Q1) et (Q2), on a noté une dominance de la conception électrique (propagation et nature du message nerveux). Ce constat pourrait être expliqué par le fait que ces notions sont introduites pour la première fois au secondaire (1ère année du baccalauréat Sciences de la Vie et de la Terre) par le registre électrique, les étudiants restent donc focalisés sur la nature électrique du message nerveux même après avoir abordé la partie chimique du concept. Pour les réponses des étudiants sur les questions (Q4), (Q5) et (Q6) au sujet de la synapse (la définition, le nombre de synapse et le schéma type de synapse) et (Q7) ainsi que (Q8) concernant la définition du concept « neurone » et son schéma explicatif, elles ont montré que ces deux conceptsne sont pas assimilés par la totalité des étudiants puisqu'ils n'ont pas opté pour les définitions correctes et n'ont pas pu schématiser ces concepts.

Concernant, les résultats des deux questions ouvertes (Q9) et (Q10), il semblait que la majorité des étudiants interrogés n'a pas intégré la conception chimique pour pouvoir définir correctement les concepts du neurotransmetteur et de la neurotransmission. Une partie des étudiants interrogés confondait le neurotransmetteur avec le neurone et la neurotransmission avec la synapse. Ces confusions semblent montrer que ces étudiants ont des problèmes liés au vocabulaire scientifique utilisé.

Il faut noter que les constats notés dans le pré-test de cette promotion sont les mêmes que ceux notés du test passés à la promotion précédente (expérimentation II) dont les données du questionnaire administré aux étudiants ayant été enseigné avec le modèle transmissif normal semble indiquer une stagnation des conceptions et un apprentissage assez limité. De ce fait, les résultats du pré-test de cette expérimentation confirment l'hypothèse ***H1.***

Partant de ce constat et du fait que les difficultés repérées pouvaient entraver l'apprentissage et l'approfondissement de ce contenu, nous avons émis l'hypothèse que l'adoption d'une démarche interactive basée sur une stratégie de prise en compte des conceptions initiales peut aider à une meilleure assimilation des notions en question. Le fondement de la méthode est de provoquer un conflit cognitif chez les apprenants, d'abord par inviter les étudiants à exprimer leurs conceptions par rapport à un concept donné, puis de leur présenter une démonstration opposée à leurs conceptions initiales. Le conflit cognitif qui en résulte provoque alors de l'insatisfaction. En effet, l'insatisfaction des étudiants à l'égard de leurs propres conceptions engendre une motivation intrinsèque qui les amène à rechercher des solutions innovantes pour acquérir et construire un savoir adéquat et proche de la réalité scientifique.

Dans cette expérimentation de l'année 2016-2017, le même test a été administré aux étudiants à la fin du coursaprès l'adoption de la démarche interactive dans l'enseignement de la neurotransmission. Contrairement à l'année précédente, les données du post-test semblent indiquer une performance dans les conceptions des étudiants et un changement conceptuel chez ces derniers.

En effet, pour les deux questions (Q1) et (Q2), le pourcentage des réponses correctes ayant augmenté indique qu'ils ont intégré plus la conception chimique dans leur interprétation du concept de la neurotransmission. A priori, ces étudiants ont pu dépasser leurs conceptions antérieures et ont pu construire un savoir cohérent relatif au concept de la neurotransmission après l'adoption d'une démarche pédagogique appropriée.

La progression dans les conceptions correctes a également été notée dans les questions (Q3), (Q4), (Q5) sur le concept de la synapse et (Q7) sur celui du neurone. Ces deux concepts semblent être maitrisés par la moitié de la population interrogée. Le même constat est noté dans le cas des deux dernières questions ouvertes (Q9) et (Q10) où les étudiants ont pu mieux définir les notions du neurotransmetteur et de la neurotransmission. On a noté une évolution dans les conceptions correctes des étudiants, ce qui pointe l'impact positif de la démarche pédagogique interactive sur l'évolution des conceptions des étudiants. Par ailleurs, l'évolution des conceptions est moins apparente dans les questions (Q6) et (Q8) invitant les étudiants à donner des schémas explicatifs de la synapse et du neurone. En effet, les étudiants semblent ne pas avoir développés la compétence de schématiser ces concepts. Au total, Ces résultats ont montré une évolution positive et significative dans les conceptions des étudiants mettant en évidence l'effet positif de la démarche interactive. Cette dernière a tenu en compte les conceptions des étudiants et a tenté d'y remédier. Il semblait donc que les étudiants interrogés ont pu atteindre un niveau de conceptualisation acceptable et ont assimilé le concept de la neurotransmission et ses concepts associés.

Enfin, même si les facteurs intervenants dans une action éducation notamment dans la transmission des connaissances sont multiples et variés et donc, on ne peut attribuer l'échec ou la réussite à un seul facteur isolé, les résultats de cette recherche mettent en évidence que la démarche pédagogique peut jouer un rôle fondamental dans les apprentissages.

*Ainsi, notre hypothèse **H3** est confirmée.*

L'ensemble des données obtenues lors de ce travail semble indiquer que les étudiants au premier cycle universitaire sont confrontés à plusieurs difficultés susceptibles d'entraver leur apprentissage du concept de la neurotransmission. Ces difficultés sont d'origine ontogénique qui sont attribuables au niveau de développement cognitif des étudiants (conceptions alternatives et pré-acquis), d'origine épistémologique qui trouvent leur source dans la nature même des concepts scientifiques et s'observent aussi dans l'histoire de ces concepts. Enfin, les obstacles didactiques qui entravent l'apprentissage qui trouvent leur source dans l'enseignement lui-même. Partant de ces constats, on peut dire que *notre hypothèse **H4** est confirmée.*

B. Deuxième partie: Propositions

Comme nous l'avons déjà précisé dans les chapitres I et IV, la neurotransmission représente un concept fondamental en biologie. Elle permet d'apporter des éléments de réponse au fonctionnement cérébral et élucider relativement sa complexité extrême.

Par ce travail de recherche, nous avons pu mettre en évidence une multitude de conceptions erronées et d'obstacles chez les étudiants de la deuxième année du premier cycle universitaire par rapport aux différentes notions de la neurotransmission. Cela est bien démontré dans les résultats des deux expérimentations portantes respectivement sur les conceptions des étudiants et sur l'obstacle linguistique. Les résultats obtenus ont montré que les étudiants avaient du mal à organiser leur savoir d'une manière cohérente, ils n'arrivaient pas à établir des liens convenables entre les différentes notions et donc ne les intégraient pas dans une unité de structure significative.

De tout ce qui précède, il semblerait indispensable à tout enseignement du premier cycle universitaire, d'intégrer les dimensions suivantes à savoir : la finalité, l'utilité, et la logique du contenu d'enseignement. De même, il serait préférable de ne pas surestimer les connaissances de ces nouveaux étudiants.

Les résultats issus des expérimentations portant sur les méthodes d'enseignement, ont montré que l'adoption de nouvelles méthodes interactives dans l'enseignement /apprentissage de la neurotransmission ont pu mener à un changement conceptuel chez les étudiants, leurs conceptions antérieures ont été dépassées et un savoir scientifique cohérent et bien structuré a pu être construit chez ces étudiants.

En se basant sur les données obtenues, nous proposons quelques pistes de réflexion:

- Sensibiliser les étudiants aux problèmes de construction des savoirs en introduisant quelques éléments de l'histoire et de l'épistémologie des savoirs scientifiques, ce qui développera chez l'étudiant un esprit ouvert et critique et lui fait saisir que le savoir scientifique n'est ni un produit fini, ni ne vérité absolue et qu'il est toujours en perpétuelle évolution.
- Les résultats obtenus incitent à généraliser les expérimentations et les étendre à des échantillons beaucoup plus grands et à d'autres concepts scientifiques,…

Enfin, si cette recherche constitue une contribution aux travaux qui essayent d'apporter des éléments de réponse à la problématique liée à l'enseignement/apprentissage de la

neurotransmission, elle ne prétend pas avoir cerné toutes les variables et paramètres gérant cet enseignement, ni avoir apporté des solutions à tous les problèmes. Il s'agit tout simplement d'une étape d'un travail à poursuivre.

Références bibliographiques

A

Abraham, J. K., Perez, K. E., & Price, R. M. (2014). The Dominance Concept Inventory: A Tool for Assessing Undergraduate Student Alternative Conceptions about Dominance in Mendelian and Population Genetics. *CBE-Life Sciences Education, 13*, 349–358.

Adrian, E. D. (1924). Some recent work on inhibition. *Brain*, *47* (4), 399-416.

Ahlquist, R. P. (1948). A study of adrenotropic receptors. *American Journal of Physiology, 153*, 586-600.

Akrim, H., El Jamali, S., El Bousaadani, A., Radid, M. & Talbi, M. (2006). L'intégration des QCM dans le contrôle continu des étudiants de la 1ère année universitaire SMP et SMC1. Cas de la chimie Générale. *RADISMA*,(1).

Albanese, A., & Vicentini, M. (1997). Why do you believe that an atom is colourless? Reflections about the teaching of the Particle Model . *Science and Education*, *6*(3), 251-261.

Amargui, L. (2006). L'enseignement de la langue française à l'université marocaine. *Le Français aujourd'hui*, (3), 77-81.

Ansari, D., & Coch, D. (2006). Bridges over troubled waters: Education and cognitive neuroscience. *Trends in cognitive sciences, 10*(4), 146-151.

Ariens, E. J. (1954). Affinity and intrinsicactivity in theory of competitiveinhibition; problems and theory. *Archives Internationnales de Pharmacologie et de Thérapie*, *99*, 32-49.

Arnaudin, M. W., & Mintzes, J. J. (1985). Students' alternative conceptions of the human circulatory system: A cross-age study. *Science Education*, *69*, 721–733.

Arsonval, A. (1889). Relation entre la tension superficielle et certains phénomènes électriques d'origine animale. *Archives de Physiologie*, *1*, 460-472.

Arvanitaki, A. (1942). Effects evoked in a axon by activity of a contiguous one. *Journal of Neurophysiology, 5*, 89-108.

Astolfi, J. P. (1992). Apprendre par franchissement d'obstacles ? *Repères, Recherches en Didactique du Français Langue Maternelle, 5*, 103‑116.

Astolfi, J. P., Darot E., Ginsberger-Vogel, Y. & Toussaint, J. (1997). *Mots clés de la didactique des sciences*. Bruxelles, Belgique : De Boeck Université.

Astolfi, J. P., Darot, É., Ginsburger-Vogel, Y., & Toussaint, J. (2008). *Mots-clés de la didactique des sciences. (2e éd.)*. Bruxelles, Belgique : De Boeck Université.

Astolfi, J. P., & Develay, M. (1989). *La didactique des sciences.* Paris, France : Presses Universitaires de France.

Astolfi, J. P., & Peterfalvi, B. (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales, *Aster*, (16), 103-141.

Augustinsson, K. B. , & Nachmansohn, D. (1949). Distinction between acetylcholinesterase and other choline-ester splitting enzymes. *Science*, *110*, 98-99.

Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: a cognitive view*. New York: HoIt, Rlnehart & Winston.

Axelrod, J. (1963). Enzymatic formations of adrenaline and other catechols from monophenols. *Science*, *140*, 499-500.

Axelrod, J., & Tomchick, R. (1959). Enzymatic-O-methylation of epinephrine and other catechols. *Journal of Biology*, *233*, 702-705.

B

Bach, J. F. (dir.). (2004). Groupe de relecture des programmes du collège. Pôle des sciences. Ministère de la Jeunesse, de l'Education nationale et de la Recherche. In M. Coquidé, C. Fortin, & G.Rumelhard. (2009). *L'investigation : fondements et démarches, intérêts et limites*. Aster, 8, 49-76.

Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris, France : Vrin.

Bachelard, G. (1940). *La philosophie du non*. Paris, France : Presses Universitaires de France.

Barbara, J. G. (2011). L'essor des sciences du neurone au XX^{e} siècle. *Psychiatr. Sci. Neurosci*., 9(2), 104.

Bachelard, G. (1989). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris, France : Vrin.

Bargmann, W. (1949). Uber die neurosekretorischemverknupfung von hypothalamus und neurohypophyse. *Zeitschrift fur Zellforschung und MikroskopischeAnatomie, 34*, 610-634. In J. C. Dupont. *Histoire de la neurotransmission*. Paris, France : Presses Universitaires de France, 1999, 320 p.

Barron, D. H., & Matthews, B. H. C. (1936). Electronus in ventral roots of the spinal cord. *Journal of Physiology*, *87*, 26-27.

Bautier, É., & Goigoux, R. (2004). Difficultés d'apprentissage, processus de secondarisation et pratiques enseignantes: une hypothèse relationnelle. *Revue française de pédagogie*, 89-100.

Beaumont, A., Cassier, P., Truchot, J. P., & Dauça, M. (2006). *Biologie et Physiologie Animale.* Editions Pradel.

Bec, J. L., &Favre, D. (1996). Le système nerveux dans le programme de Biologie: Quel(s) concept(s) veut-on enseigner? *Tréma. Les spécificités de la biologie et de son enseignement*, (9-10), 97-104.

Bélanger, M. (2008). *Du changement conceptuel à la complexification conceptuelle dans l'apprentissage des sciences*. Thèse de doctorat, Université de Montréal, Canada. Repéré de https://papyrus.bib.umontreal.ca/

Bennett, M. R. (1999). The early history of the synapse: from Plato to Sherrington. *Brain Res Bull,* 50, 95–118.

Bennour, C. (2004). *Sur la persistance de la conception hydraulique de la transmission nerveuse chez les élèves tunisiens des classes terminales*. Mémoire de DEA de didactique des disciplines, Tunis: ISEFC.

Benoit, J., & Assenmacher, I. (1953). Rapport entre la stimulation sexuelle préhypophysaire et la neurosécrétion chez l'oiseau. *Archives d'Anatomie Microscopique, 42*, 334.

Beorchia, F. H. (2003). *La communication nerveuse: conceptions des apprenants et problématisation, importance des explications mécanistes et vitalistes*. Thèse de doctorat, université de Nantes, France.

Bergami, G., Cantoni, G., & Gualtierotti, T. (1936). Sulla liberazione di sostanzebiologicamenteattive dalla superficie di tagliodi nervi durante l'eccitamentofiscologico o provocato. *Archiviodell'IstitutoBiochimico Italiano, 8*, 267-298. In J. C. Dupont. *Histoire de la neurotransmission.* Paris, France : Presses Universitaires, 1999, 320p.

Berger, H. (1969). On the electroencephalogram of man. Fourteenth report. *Electroencephalography and clinicalneurophysiology*, Suppl-28.

Bernard, C. (1857). *Leçons sur les effets des substances toxiques et médicamenteuses*. Paris, France : Baillière.

Bernard, C. (1997). *Du rapport au savoir.Éléments pour une théorie*. Paris, France : Anthropos.

Bernstein, J. (1868). Uber den zeitlichenverlauf der negativeschwan Kung des Nervenstroms. *Pfluger'sArchivGesantePhysiology des Menschenund der Tiere*, 1, 173-207. In C. Kayser. *Physiologie Système nerveux. Muscle* (Vol.2). Paris, France : Editions Médicales Flammarion, 1963.

Bertrand, C. (2014). Soutenir la transformation pédagogique dans l'enseignement supérieur. RapportdeMinistère de l'enseignement supérieur et de la recherche. Retiré de https://www.letudiant.fr/static/uploads/mediatheque/EDU_EDU/2/5/253025-rapport-pédagogie-vdiff-01-07-14-original.pdf

Bertrand, Y. (1998). *Théories contemporaines de l'éducation*. Montréal, Canada : Éditions Nouvelles.

Binet, L., & Minz, B. (1934). Sur une substance sensibilisant à l'acétylcholine formée par le tronc du nerf vague isolé, soumis à l'action du courant électrique. *Comptes Rendus de la Société de Biologie, 117*, 1029-1031.

Bireaud, A. (1990). *Les méthodes pédagogiques dans l'enseignement supérieur*. Paris, France: Editions d'Organisation.

Birks, R., Katz, B., & Miledi, R. (1960). Physiological and structural changes at the amphibian myoneural junction, in the course of nerve degeneration. *Journal of Physiology, 150*, 145-168.

Boilevin, J.-M, Brandt-Pomares, P., Givry, D., & Delserieys, A. (2012). L'enseignement des sciences et de la technologie fondé sur l'investigation : étude d'un dispositif collaboratif entre enseignants de collège et chercheurs en didactique. In B. Calmettes (Ed.), *Démarches*

d'investigation : références, représentations, pratiques et formation (pp. 214-234). Paris, France : L'Harmattan.

Boilevin, J.-M. (2013). La place des démarches d'investigation dans l'enseignement des sciences. In M. Grangeat (Ed.).*Les enseignants de sciences face aux démarches d'investigation. Des formations et des pratiques de classe* (pp 27-53). Grenoble, France : PUG.

Boilevin, J.-M., Delserieys, A., Brandt-Pomares, P., & Coupaud, M. (2016). Démarches d'Investigation : histoire et enjeux. In C., Marlot, & L., Morge. *L'investigation scientifique et technologique: comprendre les difficultés de mise en œuvre pour mieux les réduire.*

Bouayad, A. (2015). *Liaison chimique: Conceptions et difficultés d'apprentissage en cycle Licence*. Thèse de doctorat inédite, Faculté des Sciences Dhar El Mahraz-Fès, Maroc.

Bouchard, R., & Parpette, C. (2007). Initiation a une discipline universitaire, commentaire terminologique general et enseignement du vocabulaire specialise / Le cas des CM de Droit. In E. Calaque (Ed.), *Enseignement et apprentissage du lexique (pp.* 199-211). Bruxelles, Belgique : De Boeck.

Bourqia, R. (2018). L'enseignement supérieur au Maroc. Efficacité, efficience et défis du système universitaire à accès ouvert. Rapport sectoriel du Conseil Supérieur de l'Education, de la Formation et de la Recherche Scientifique. Repéré sur le site : https://www.csefrs.ma/publications/lenseignement-superieur-au-maroc/?lang=fr

Brazier, MAB. (1959). The historical development of neurophysiology. In F. Clarac & J. P. Ternaux. *Encyclopédie historique des neurosciences. Du neurone à l'émergence de la pensée*. Bruxelles, Belgique : De Boeck Supérieur.

Brecht, K., & Corsten, M. (1941). Acetylcholin in sensible Nerven. *Pflugers Archiv Gesante Physiology des Menschenund der Tiere, 245*, 160-169.

Bernstein, J. (1868). Ueber den zeitlichen Verlauf der negativen Schwankung des Nervenstroms. *Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere*, 1(1), 173-207.

Bressoux, P. (2001). Réflexions sur l'effet-maître et l'étude des pratiques enseignantes. *Les dossiers des sciences de l'éducation*, *5*, 35-52.

Brock, L. G., Coombs, J. S., & Eccles, J. C. (1952). The recording of potentials from motoneurones with a intracellular electrode. *Journal of Physiology*, *117*, 431-460.

Brown, G. L. (1937). Action potentials of normal mammalian muscle.Effects of acetylcholine and serine.*Journal of Physiology*, *89*, 220-237.

Brown, G. L., Dale, H., & Feldberg, W. (1936). Reactions of the mammalian muscle to acetylcholine and to serine. *Journal of Physiology*, *87*(4), 394-424.

Brown, G. L., & Eccles, J. C. (1934). The action of a single vagal volley on the rhythm of the heart beat. *Journal of Physiology*, *82* (2), 211-241.

Bruer, J. T. (1997). Education and the brain: A bridge too far. *Educational Researcher*, *26*(8), 4-16. Repéré à: https://doi.org/10.2307/1176301

Bullock, T. H., & Hagiwara, S. (1957). Intracellular recording from the gaint synapse of the squid. *Journal of General Physiology*, *40*, 565-577.

C

Calmettes, B. (2007). *Formation d'enseignants débutants à la mise en place d'une démarche d'investigation en classe*. Communication présentée au Congrès International d'Actualité de la Recherche en Éducation et en Formation, Strasbourg. Repéré à https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00278598/

Calmettes, B. (2008). *Analyse d'un dispositif de formation à l'enseignement en sciences par démarche d'investigation*. Actes du congrès de l'AIPU, Montpellier, France. Repéré à https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00278593/

Calmettes, B. (2009). Démarche d'investigation en physique. Des textes officiels aux pratiques de classe. *Spirale, 43*,139-148.

Calmettes, B., & Matheron, Y. (2015). Les démarchesd'investigation : utopie, mythe ou réalité ?.*Recherches en Education*, (21).

Campbell, S., & Pagé, P. (2012). La neuroscience éducationnelle: enrichir la recherche en éducation par l'ajout de méthodes psychophysiologiques pour mieux comprendre l'apprentissage. *Neuroéducation.*

Canguilhem, G. (1968). *Etudes d'histoire et de philosophie des sciences concernant les vivants et la vie*. Paris, France: Vrin.

Cannon, W. B., & Bacq, Z. M. (1931). Studies on condition of activity in endocrine glands, XXVI: A hormone produced by sympathetic action on smooth muscle tissue. *American Journal of Physiology*, *96*, 392-412.

Cannon, W. B., & Uridil, J. E. (1921). Studies on condition of activity in endocrine glands, VII. *American Journal of Physiology, 58*, 353-354.

Carlsson, A. (1959). The occurrence distribution and physiological role of catecholamines in the nervous system. *Pharmacological Reviews*, *11*, 490-493.

Carlsson, A, Falck, B., Fuxe, K., & Hillarp, N. A. (1964). Cellular localisation of monoamines in the spinal cord. *ActaPhysiologica of Scandinavia*, *60*, 112-119.

Carlsson, A., Falck, B., & Hillarp, N. A. (1962). Cellular localisation of brain monoamines. *ActaPhysiologica of Scandinavia*, *56*, 1-28.

Carlsson, A., Lindqvist, M., Magnusson, T., & Waldeck, B. (1958). On the presence of 3 – hydroxytyramine in brain. *Science, 127*, 469-470.

Carlsson, A., & Waldeck, B. (1958). A fluorimetric method for the determination of dopamine (3- hydroxytyramine). *Acta physiologica of Scandinavia*, *44*, 293-298.

Chakib, A., Zahour, G., Talbi, M., & Radid, M., (2013). Obstacles linguistiques liés à l'apprentissage des sciences de la terre au Supérieur. Elaboration d'un didacticiel de traduction des termes géologiques « Lexigloss » in Revue *EpiNet, Association Enseignement Public et Informatique (EPI)*. http://www.epi.asso.fr/revue/articsom.htm.

Chang, H. C., & Gaddum, J. H. (1933). Choline esters in tissue extracts. *Journal of Physiology*, *79*, 255-285.

Chang, N. M., & Leeman, S. E. (1970). Isolation of a sialogogic peptide from bovine hypothalamic tissue and its characterization as substance P. *Journal of Biological Chemistry*, *245*, 4784-4790.

Changeux, J. P., & Danchin, A.(1976). Selective stabilization of developing synapses as a mechanism for the specification of neuronal networks. *Nature*, *264*, 705-712.

Changeux, J. P., Thiery, J., Tung, Y., & Kittel. (1967). On the cooperativity of biological memebranes. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *57*, 335-341.

Chevallard, Y. (1989). *La transposition didactique*. *Recherches en didactique des mathématiques.* Grenoble, France : La Pensée Sauvage.

Chevallard, Y. (1991). *La transposition didactique*. Grenoble, France: La pensée sauvage.

Churchland, P. C. (1980). A perspective on mind-brain research. *The journal of philosophy*, *77*(4), 185-207.Repéré à: https://doi.org/10.2307/2025588

Clarac, F., & Ternaux, J. P. (2008). *Encyclopédie historique des neurosciences. Du neurone à l'émergence de la pensée.* Bruxelles, Belgique : De Boeck Supérieur.

Clément. P. (1994). Représentations, conceptions, connaissances. Dans A. Giordan, Y. Girault & P. Clément (Eds.), *Conceptions et connaissances* (pp.73-91), Berne: Peter Lang.

Clément. P. (1994). Difficile évolution des conceptions sur les rapports entre cerveau, idées et âme. In A. Giordan, Y. Girault & P. Clément (Eds.), *Conceptions et connaissances* (pp.73-91), Berne: Peter Lang.

Clément, P. (1998). La biologie et sa didactique. Dix ans de recherches. *Aster*,(27), INRP, 57-93, Paris.

Clément, P. (2004). *Science et idéologie: exemples en didactique et épistémologie de la biologie*. In Actes du Colloque Sciences, médias et société. ENS-LSH (pp. 53-69). Repéré à : https://www.researchgate.net/profile/Igor_Babou/publication/281794724_Sciences_medias_et_societe_colloque_Ecole_normale_superieure_lettres_et_sciences_humaines_Lyon_15_16_17_juin_2004/links/55fae9a508aec948c4afa65

Cole, K. S., & Curtis, H. J. (1938). Electric impedance of Nitella during activity.*Journal of General Physiology*,*22*, 37-64.

Comte, A. (1830). *Cours de philosophie positive. Tome premier [-sixième]: Les préliminaires généraux et la philosophie mathématique (Vol. 1).* Paris, France: Bachelier.

Coombs, J. S., Eccles, J. C., & Fatt, P. (1955). The electrical properties of the motoneuronemembrane. *Journal of Physiology*, *130*, 291-325.

Coquidé, M., Fortin, C., & Rumelhard, G. (2009). L'investigation : fondements et démarches, intérêts et limites. *Aster*, *8*, 49-76.

Cormier, C. (2012). *Les conceptions alternatives des étudiants en sciences*. Communication dans un congrès : Enseigner et apprendre en réseau pour se réaliser individuellement et réussir collectivement (pp. 47-54). 31e Colloque AQPC. Repéré à : https://cdc.qc.ca/Actes_aqpc/2011/412-2011.pdf

Cormier, C. (2013). Les conceptions en géométrie moléculaire d'étudiants de Sciences de la nature mode de raisonnement et diagnostic de conceptions alternatives fréquentes en chimie. Cégep André-Laurendeau.

Coupaud, M. (2014). *Démarches d'investigation dans l'enseignement de sciences et de technologie : perception et appropriation par les enseignants de collège*. Mémoire de master ensciences de l'éducation non publié, Aix Marseille Université, Marseille.

Crouch, C. H., & Mazur, E. (2001). Peer instruction: Ten years of experience and results. *American Journal of Physics, 69*(9), 970-977.

Curtis, D. R. (1961). The identification of mammalian inhibitory transmitters, in E. Floey.Nervous inhibition, *Oxford, Pergamon*, 342-349.

Curtis, D. R., & Eccles, R. M. (1958). The excitation of Renshaws cells by pharmacological agents applied electrophoretically. *Journal of Physiology, 141*, 435-445.

D

Dale, H. (1914). The action certains esters and ethers of choline and their relations to muscarine. *Journal of Pharmacology, 6*, 147-190.

Dale, H. (1933). Nomenclature of fibres in the automatic system and their effects. *Journal of Physiology*, 80.

Dale, H., Felberg, W., & Vogt, M. (1936). Release of acetylcholine at voluntary nerve endings. *Journal of Physiology, 86*, 353-380.

Darley, B. (1994). *L'enseignement de la démarche scientifique dans les travaux pratiques de biologie à l'université. Analyses et propositions*.Thèse de Doctorat, Université de Grenoble 1, France.

Darley, B. (2007). La démarche d'investigation et son vocabulaire.IUFM d'aquitaine et DAESL Université Bordeaux2. Publié dans*Grand N,79,*99-111.

Debru, C. (1983). *L'esprit des protéines*. Paris, France : Hermann.

Debru, C. (1987). Les conceptions neurohumorales de la neurotransmission à la neurorndocrinologie. *Cahiers d'Histoire et de Philosophie des Sciences, 22*, 48-60.

Debru, C. (1999). Préface de Jean Claude Dupont. *Histoire de la neurotransmission*. Paris, France : Presses Universitaires de France, 320p.

Delay, J., Deniker, P., & Harl, J. M. (1952). Therapeutic method derived from hiberno-therapy in excitation and agitation states. *Annales médico-psychologiques, 22*(110), 267.

De Meulemeester, L. (2001). *La démocratisation de l'enseignement universitaire. Mythe ou réalité ? Analyse de l'évolution de la composition sociale du public de 1ère génération à*

l'UCL. Mémoire de Licence, Faculté des Sciences économiques, sociales et politiques. Université Catholique de Louvain, Louvain-la –Neuve.

Del Castillo, J., & Katz, B. (1954). The effect of magnesium on the activity of motor nerve endings. *Journal of Physiology*, *124*, 553-559.

Del Castillo, J., & Katz, B. (1956). Biophysical aspects of neuromuscular transmission. *Progress in Biophysics, 6*, 122-170.

De Robertis, E., & Bennett, H. S. (1954). Submicroscopic vesicular component in the synapse. *Federations Proceedings*, *13*, 35.

De Robertis, E., & Bennett, H. S. (1955). Some features of submicroscopic morphology of synapses in frog and earthworm. *Journal of Biophysical and Biochemical Cytology*, *1*, 47-58.

Descartes, R. (1646). Les Passions de l'Ame. Henry Le Gras, Paris. In C. Kayser. *Systèmenerveux.Muscle.* (Vol.2). Paris, France : Editions médicales Flammarion.

Destexhe, A., Mainen, Z. F. & Sejnowski, T. J. (1994). Synthesis of models for excitable membranes, synaptic transmission and neuromodulation using a common kinetic formalism. *Journal of Computational Neuroscience*, *1*, 195–230.

DeVecchi,G. (1992). *Aider les élèves à apprendre*. Paris, France : Hachette, Education.

De Vecchi, G. (2010). *Aider les élèves à apprendre - 3e édition.* Paris, France : Hachette éducation.

Develay, M. (1995). *Savoir scolaire et didactique des disciplines. Une encyclopédie pour aujourd'hui.* Collection Pédagogiques, ESF. Editeur.

DiSessa, A. A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, *10*(2/3), 105-225.

DiSessa, A. A. (1996). What do "just plain folk" know about physics? In D. R. Olson & N. Torrance (Eds.), *Handbook of Education and Human Development* (pp. 709-730). Malden: MA: Blackwell Publishing.

Di Sessa, A. (2002). Why conceptual ecology is a good idea. In M. Limon & L. Mason (Ed.), *Reconsidering conceptual change: Issues in theory and practice* (pp. 29-60). Dordrecht, The Netherlands: Springer.

Doudin, P.A., & Tardif, E. (2016). Neurosciences *et cognition : Perspectives pour les sciencesdel'éducation.* Bruxelles, Belgique : De boeck supérieur.

Driver, R. (1989).Student's Conceptions and the Learning of Science. *International Journal of Science Education, 11*, 481-490.

Driver, R., & Easley, J. (1978). Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, *5*, 61-84.

Du Bois Reymond, E. (1841). Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris. In C. Kayser. *Système nerveux. Muscle. (Vol.2).* Paris, France :Editions médicales Flammarion, 1963.

Du Bois Reymond, E. (1843). Vor Laufiger Abris seiner UntersuchungubersogenanntenFroschstromunduber die elektromotorischen. *FisheAnnalen der PhysikundChemie*, 134, 1-30. In C. Kayser. *Système nerveux. Muscle. (Vol.2).* Paris, France :Editions médicales Flammarion, 1963.

Du Bois Reymond, E. (1867). Uber die elektromotorische Kraft ferNerven und Muskeln. *Archiv fur Anatome und Physiologie*, p.417-497.In J. C. Dupont. *Histoire de la neurotransmission.* Paris, France : Presses Universitaires de France, 1999, 320p.

Du Bois-Reymond, E. (1877). *Gesammelte Abhandlungen zur Allgemeinen Muskel-und Nervenphysik.* Leipzig:Veit & Co.

Duit, R. (1999). Conceptual Change Approaches in Science Education.InW.Schnotz, S.Vosniadou & M. Carretero (dir.). *New Perspectives on Conceptual Change* (pp. 263-282).Bingley, UK: Emerald Group Publishing Limited.

Duit, R., & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, *25*(6), 671-688.

Dupont, J. C. (1999). *Histoire de la neurotransmission*. Paris, France : Presses Universitaires de France, 320p.

E

Eastes, R. E. (2013). *Processus d'apprentissage, savoirs complexes et traitement de l'information: un modèlethéorique à l'usage des praticiens, entre sciences cognitives, didactique et philosophie des sciences*. Thèse de Doctorat, Université Panthéon-Sorbonne-Paris I, France.

Eccles, J. C. (1935). Slow potential waves in the superior cervical ganglion. *Journal of Physiology*, *85*, 464-501.

Eccles, J. C. (1936). Synaptic and muscular transmission. *Ergebnisse der Physiologie*, *38*, 339-444.

Eccles, J. C. (1937). Synaptic and neuromuscular transmission. *Physiological Reviews*, *17*, 538-555.

Eccles, J. C. (1946). A electrical hypothesis of synaptic and muscular transmission. *Annals of the New York Academy of Sciences*, (47), 429-455.

Eccles, J. C. (1982). The synapse from electrical to chemical transmission. *Annual Review of Physiology*, *5*, 325-339.

El-Hage, F. (2013). Introduction aux méthodologies actives. In S. Hayek, R. Mawad & N. Moghaizel-Nasr. *Manuel de pédagogie universitaire (B-1).* Beyrouth, Liban : Spcom.

El Hassouny, E. H. (2014). *Les TICEs en classes de sciences physiques : Enjeux et étude d'impact.* Thèse de doctorat inédite, Faculté des Sciences Dhar El Mahraz-Fès, Maroc.

Elliott, T. R. (1904). On the action of adrenalin. *Journal of Physiol*ogy, *31*(20).

Elliott, T. R., & Henderson, N. (1951). Factors affecting acetylcholine found in excised rat brain. *American Journal of Physiology, 165,* 365-374.

Engelhart, E., & Loewi, O. (1930). Uber die VagusStoffzerstorung in Herzen. *Archives Internationales de Pharmacodynamie et de Thérapie,38,* 287-291.

Erlanger, J. (1939). Initiation of impulses in axons. *Journal of Neurophysiology, 2,* 370-379.

Erlanger, J., & Gasser, H. S. (1924).The compound nature of the action current of nerve disclosed by the cathode-ray oscillograph. *American Journal of Physiology, 70,* 624-666.

Euler, U. S. Von. (1936). Untersuchungen uber Substanz P, die atropinfeste, darmerrgende und gefasserweitern de SubstanzausDarm und Hirn. *Archiv fur Experimentelle Pathologie undPharmakologie,* 181, 181-197. In J. C. Dupont. *Histoire de la neurotransmission*. Paris, France : Presses Universitaires de France, 1999, 320p.

Euler, U. S. Von.(1945). Piperidine as a normal pressor constituent of human urine. *Acta Physiologica of Scandinavia, 8,* 380-384.

Euler, U. S. Von. (1978). Pieces in the puzzle.*Annual Review of Pharmacology and Toxicology,11,* 675-686.

Euler, U. S. Von., &Gaddum. J. H. (1931). Unidentified depressor substance in certain tissue extracts. *Journal of Physiology, 72,* 74-87.

F

Falck, B., Hillarp, N. A., Thieme, G., & Torp, A. (1962). Fluorescence of catecholamines and related compounds condensed with formaldehyde. *Journal of Histochemistry and Cytochemistry, 10,* 348-354.

Fatt, P., & Katz, B. (1951). An analysis of the end-plate potential recorded with an intra-cellular electrode. *Journal of Physiology, 65,* 320-369.

Fatt, P., & Katz, B. (1952). Spontaneous subthreshold activity at motor nerve endings. *Journal of Physiology, 117,* 109-128.

Faulx, D., & Danse, C. (2015). *Comment favoriser l'apprentissage et la formation des adultes?* Bruxelles, Belgique : De Boeck.

Fauque, D. (2007). Introduire la dimension historique au collège en France. *Review of science, mathematics and ICP education, 1*(2), 5-39.

Feldberg, W., Fessard, A., & Nachmansohn, D. (1940). The cholinergic nature of the nervous supply to the electrical organ of the torpedo (T. marmonata). *Journal of Physiology, 97*(3).

Feldberg, W., & Gadum, J. H. (1934). The chemical transmitter at synapses in a sympathetic ganglion. *Journal of Physiology,* 81, 305-319.

Felouzis, G. (2003). *Les mutations actuelles de l'Université* (1st ed.). Paris, France : PUF-Presses universitaires de France.

Fessard, A. (1980). Système nerveux (Propriétés élémentaires du neurone), Electrophysiologie (Bioélectrogenèse), Synapses (Electrophysiologie). In *Encyclopedia Universalis*, vol.11, 709-714, vol. 6, 69-76, vol. 15, 646-648. Paris.

Fischer, K. W., Goswami, U., & Geake, J. (2010). The future of educational neuroscience. *Mind, Brain, and Education, 4*(2), 68-80.

Fontana, F. (1781). Traité sur le Vénin de la Vipère. Sur les Poisons Américains. Sur le Laurier cerise et sur quelques autres poisons végétaux. Différentes expériences sur la reproduction des nerfs et la description d'un nouveau canal de l'œil. (Vol.1). Nyon l'Ainé. In. C. Kayser. *Système nerveux. Muscle. (Vol.2).* Paris, France : Editions Médicales Flammarion, 1963.

Forel, A. (1887). EinigehirnanatomisheBetrachtungen und Ergebnisse.Archiv fur Psychiatrie und Nervenkrankheiten, 18, 162-198. In J. C. Dupont. *Histoire de la neurotransmission*. Paris, France : Presses Universitaires de France, 1999, 320p.

Fodstad, H. (2001). The neuron theory. *Stereotact Funct Neurosurg*, 77, 20-24.

Fulton, J. F. (1926). *Muscular contraction and the reflex control of movement*. Oxford, England: Williams & Wilkins.

G

Gaddum, J. H. (1927). Quantitative observations on thyroxine and allied substances: I. The use of tadpoles. *The Journal of physiology*, *64*(3), 246-254.

Gaddum, J. H. (1937). The quantitative effects of antagonistic drugs. *Journal of Physiology*, *89*, 7-9.

Gaddum, J. H. , & Schild, H. (1934). Depressor substances in extracts of intestine. *The Journal of physiology*, *83*(1), 1-14.

Galand, B., Neuville, S. & Frenay, M. (2005). L'échec à l'université en Communauté française de Belgique : Comprendre pour mieux prévenir ? *Les Cahiers de Recherche en Education et Formation*, *39*.

Galvani, L. (1791). De viribuselectricitatis in motu muscularicommentaris. BononienSci Art Instit AcadComm, 7, 363–418. In C.Kayser. *Système nerveux. Muscle*. Paris, France : Editions médicales Flammarion, 1963.

Gandolfo, G., & Deschaux, O. (2010). Histoire de la découverte du cerveau et de l'évolution des méthodes d'exploration : De la Préhistoire à nos jours. *Biologie Géologie*, 2-2010, pp.127.

Gaussel, M. & Reverdy, C. (2013). Neurosciences et éducation : la bataille des cerveaux. *Dossier de Veille de l'Institut Français de l'Éducation*, *86*, 1-40.

Gauvin, I., & Boivin, M-C. (2012). La théorie de la transposition didactique: un outil conceptuel pour décrire les savoirs grammaticaux élaborés en classe par les élèves. *Bellaterra Journal of Teaching and Learning littérature*. *5*(3), 10-24.

Gerlach, J.Von. (1872). Uber die Structur der grauen Substanz des menschlichenGrosshirns. Zentralblatt fur Wissenschaftliche Medizin, 10, 273-275. In J. C. Dupont. *Histoire de la neurotransmission*. Paris, France : Presses Universitaires de France, 1999, 320p.

Ghoumidi, I. (2012). *L'enseignement du français à l'université marocaine : le cas de la filière « économie et gestion »*. Linguistique. Thèse de Doctorat, Université Rennes 2, France et Université Ibn Tofail-Kénitra, Maroc.

Giordan, A. (1993). *Les conceptions des apprenantsdans la pédagogie : une encyclopédie pour aujourd'hui*. Paris, France : ESF éditeur.

Giordan, A. (1996). Les conceptions de l'apprenant comme tremplin pour l'apprentissage...! . *Sciences humaines*.Repéré à :*http://www.andregiordan.com/articles/apprendre/concepttapp.html*

Giordan, A. (1998). *Apprendre*. Paris, France : Editions Belin.

Giordan, A. (1999). *Une didactique pour les sciences expérimentales*. Paris, France : Editions Belin.

Giordan, A., & De Vecchi, G. (1987). *Les origines du Savoir, des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques.* Paris, France : Delachaux et Niestlé.

Giordan, A., Girault, Y., & Clément, P. (1994). *Conceptions et connaissance*. Bern, Switzerland: Peter Lang.

Giordan, A., & Martinand, J. L. (1988). Etat des recherches sur les conceptions des apprenants à propos de la Biologie. *Annales de la Didactique des Sciences, 2*,11-63.

Golgi, C. (1891). La rete nervosa diffusa degli organi centrali del sistema nervoso: suo significata fisiologico. *Arch Ital Biol*, 15, 434- 463.

Gonzalez, F. M. (1997). Diagnosis of Spanish primary school student's common alternative science conceptions. *School Science and Mathematics*, *97*(2), 68-74.

Grangeat, M. (2014). Connaître les principes des démarches d'investigation. Retiré de http://webcom.upmfgrenoble.fr/sciedu/evacodice.

Grundfest, H. (1967). La membrane des cellules excitables. *Actualités Neurophysiologiques, 7*, 35-73.

Guedj, M., Laube, S. &Savaton, P. (2009). Sur l'usage d'outils didactiques à caractère historique pour l'enseignement des sciences. *Actes d'històriade la ciència i de la tècnica, 2*(1), 367-377.

Guénard, H. (2009). *Physiologie humaine*. Paris, France : Editions Pradel.

Gyllenpalm, J., Wickman, P-O., & Holmgren, S-O. (2010). Teachers' language on scientific inquiry: methods of teaching or methods of inquiry? *International Journal of Science Education,39* (9), 1151-1172.

H

Hagirawa, S., & Tasaki, I. (1958). A study of the mechanism of impulse transmission actors the giant synapse of the squid. *Journal of Physiology*, *134*(1), 114-137.

Haidar, M. (2012). *L'enseignement du français à l'université marocaine: le cas de la filière « Sciences de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers »*. Thèse de Doctorat, Université Rennes 2, France et Université Ibn Tofail-Kénitra, Maroc.

Hake, R. R. (1998).Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, *66*(1), 64-74.

Hamill, O. P., Marty, A., Neher, E., Sakmann, B. & Sigworth, F. J. (1981).Improved patch-clamp techniques for high-resolution current recording from cells and cellfree membrane patches.*PflugersArchiv European Journal of Physiology*, *391*, 85–100.

Hammoud, C., & Tritsch, D. (1990). *Neurobiologie cellulaire. Canaux ioniques et transmission synaptique.*Paris, France : Doin Editeurs.

Harris, G. W. (1950). Oestrousrythm. Pseudo-pregnancy and pituitary stalk in rat. *Journal of Physiology*, *111*(3-4), 347-360.

Hasni, A., & Bousadra, F. (2016). *Les démarches d'investigation scientifique dans les pratiques d'enseignements du secondaire au Québec: défis théoriques et pratiques*. Présenté dans le 84e congrès de l'ACFAS, Montréal, Canada.

Hebb, C. O., & Morris, D. (1969). Identification of acetylcholine and its metabolism in nervous tissue. *The Structure and Function of Nervous Tissue*, *3,* 25-60.

Helmoltz, H. (1850). Note sur la vitesse de propagation de l'agent nerveux dans les nerfs rachidiens (Note transmise par M. De Humboldt). *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences*, *30,* 204-206.

Henderson, V. E., & Roepke, M. H. (1933). Uber den lokalenhormonalenmechanismus der Parasympathicusreizung. *Archiv fur Experimentelle Pathologie undPharmakologie*, *172*, 314-324. In J. C. Dupont. *Histoire de la neurotransmission*. Paris, France : Presses Universitaires, 1999, 320p.

Hermann, L. (1879). Handbuch der Physiologie (Bd II, Teil1. Leipzig, Vogel, éd., 168-171.In J. C. Dupont.*Histoire de la neurotransmission*. Paris, France : Presses Universitaires,1999, 320p.

Hewson, P.W. (1980). *A Case Study of the effect of metaphysical commitments on the learning of a complex scientific theory*. Communication présentée au Annual Meeting of the American Educational Research Association.Boston, MA, du 7 au 11 Avril.

Hewson, P. W., Beeth, M. E., & Thorley, N. R. (1998).Teachingfor Conceptual Change.In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.).*International Handbook of Science Education*(pp.199-218). Dordrecht, The Netherlands: Springer Netherlands.

Hewson, P.W., & Thorley, N. R. (1989). The Conditions of Conceptual Change in the Classroom. *International Journal of Science Education*, *11*, 541-553.

High Level Group (2004). *Increasing human resources for scienceand technology in Europe.EC conference Europe needs more scientists.*CommissionEuropéenne. Direction de la recherche. Repéré à :http://ec.europa.eu/research/conferences/2004/sciprof/index_en.html.

His, W. (1887). Zur Geschichte des menschilchenRuckenmarkes und der Nervenwurzeln.Abhandlungen der KoniglichenSachsischenGessellschaft fur Wissenschaft, 13, 477-514. In J. C. Dupont. *Histoire de la neurotransmission*. Paris, France : Presses Universitaires, 1999,320p.

Hodgkin, A. L. (1937). Evidence for electrical transmission in nerve. *Journal of physiology*, *90*(2), 183-210.

Hodgkin, A. L., & Huxley, A. F. (1952). A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve. *The Journal of physiology*, *117*(4), 500-544.

Houssaye, B. A. (1950). *Physiologie humaine, vol. II*, Paris, France : Flammarion.

Houssaye,J. (1993). *La motivation dans la pédagogie : une encyclopédie pour aujourd'hui*. Paris, France : ESF éditeur,p.20.

Hubbard, J. I., Schmidt, R. F. (1963). An electrophysiological investigation of mammalian motor nerve terminals. *Journal of Physiology*, *166*, 145-167.

J

Jameau, A. (2012). *Les connaissances mobilisées par les enseignants dans l'enseignement des sciences. Analyse de l'organisation de l'activité et de ses évolutions*. Thèse de doctorat inédite. Université de Bretagne Occidentale, France.

Jonnaert, Ph. (1988). *Conflits de savoirs et didactique*. Bruxelles, Belgique : De Boeck Supérieur.

Joshua, S. (1996). Le concept de transposition didactique n'est-il propre qu'au mathématique? InC.Raisky et M. Caillot (dir.). *Au-delà des didactiques, la didactique. Débats autour de concepts fédérateurs* (pp. 61-73). Bruxelles, Belgique : De Boeck.

Joshua, S. & Dupin, J. J. (1989). *Représentations et modélisation : le débat scientifique dans la classe et l'apprentissage de la physique*. Berne, Switzerland: Peter Lang.

Joshua, S. & Dupin, J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris, France:Presses universitaires.

Joshua, S., & Dupin, J. J. (1999). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques.*Paris, France : Presses Universitaires.

K

Kaddari, F. (2005). *De l'atome à l'atomistique. Etude des principes et des conceptions.* Doctorat d'Etat inédite, Faculté des Sciences Dhar El Mahraz-Fès, Maroc.

Kampourakis, K., Silveira, P., & Strasser, B.J. (2016). How Do Preservice Biology Teachers Explain the Origin of Biological Traits? A Philosophical Analysis. *Science Education, 100,* 1124‑1149.

Katz, B. (1966). *Nerve, muscle and synapse*, New York-St-Louis: McGraw Hill book company.

Katz, B., & Miledi, R. (1963). A study of spontaneous miniature potentials in spinal motoneurones. *Journal of Physiology, 168,* 389-422.

Kayser, C. (1963). *La Physiologie. Système nerveux. Muscle*. Paris, France : Médicales Flammarion.

Klinger, M. (1982). A glimpse into Roche research : antiparkinsontreatment.*International Journal of Clinical Pharmacology, Therapy and Toxicology, 20*, 190-193.

Kochkar, M. (2007). *Les déterminismes biologiques : Analyse des conceptions et des changements conceptuels consécutifs à un enseignement sur l'épigenèse cérébrale chez des enseignants et des apprenants tunisiens*. Thèse de doctorat, Université de Tunis & Université Claude Bernard – Lyon 1, France.

Kolliker, A. (1852). *Handbuch der Gewebelehre des Menschen fur Aertze und Studirende*. Engelmann, Leipzig.

Kölliker, A. (1891). The minute anatomy of the spinal cord and cerebellum demonstrated by Golgi's method. *Journal of anatomy and physiology*, *25*(3), 443.

Krupka, R. M., & Laidler, K. J. (1961). Molecular mechanisms for hydrolytic enzymatic action. *Nature, 190,* 916-918.

Kuffler, S. W. (1949). Le système moteur a fibres nerveuses de petit diamètre. *Archives des Sciences Physiologiques*, *3*(4), 613-630.

Kuhne, W. (1862). *Uber dieperipherischen Endorgane der motorischen Nerven*. Engelmann, Leipzig.

L

Labédie, G., & Amossé, G. (2001). Constructivisme ou socio-constructivisme. *Pädagogisches Institut der deutschenSprachgruppe*, Bozen DDEC de Nantes.

Laborit, H. (1973). *Les comportements: biologie, physiologie, pharmacologie*. Paris, France : Masson.

Laget, P. (1977). *Relations Synaptiques et non Synaptiques entre les éléments nerveux* (Tome 2). Paris, France: Masson (2ème édition).

Laget, P. (1981). *Biologie et Physiologie des éléments nerveux* (Tome 1). Paris: Masson (3ème édition).

Lakdime, A. (2013). *Pertinences et limites de l'usage des TICE dans les pratiques d'évaluation et d'accompagnement pédagogique de l'apprenant : cas de la transposition du lycée au supérieur dans le contexte marocain*. Doctorat national, Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès, Maroc.

Langley, J. N. (1905). On the reaction of cells and of nerves-endings to certain poisons, chiefly as regards the reaction of striated muscle to nicotine and curare. *Journal of Physiology*, *33*, 374-413.

Langley, J. N. (1906). On nerve endings and on special excitable substances in cells. *Proceedings of the Royal Society of London*, *78*(524), 170-194.

Lanoë, C., Rossi, S., Froment, L., & Lubin, A. (2015). Le programme pédagogique neuroéducatif «À la découverte de mon cerveau»: quels bénéfices pour les élèves d'école élémentaire. *Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant*, *134*, 55-45.

Lapicque, L. (1907). Plan d'une théorie physique du fonctionnement des centres nerveux. *Comptes Rendus de la Société de Biologie*, *63*, 787-790.

Lapicque, L. (1936). Nouvelles hypothèses sur le rôle de l'acétylcholine dans la transmission de l'excitation au muscle strié. *Comptes Rendus de la Société de Biologie*, *122*, 990-993.

Lapicque, L. (1943). *La machine nerveuse*.Paris, France : Flammarion.

Lapointe, Y. (2002). Changement conceptuel: exemple d'utilisation d'une stratégie de modélisation pour l'apprentissage du concept d'interaction. In R. M. J. Toussaint (dir.). *Changement conceptuel et apprentissage des sciences, recherches et pratiques* (pp. 117-131). Montréal, Canada : Les Éditions Logiques.

Laribi, R., Marzin, P., Sakly, M., & Favre, D. (2010). Etude des conceptions des élèves de première et de terminale scientifiques sur la transmission synaptique en Tunisie et en France. *RDST*, *2*, 193-214.

Larochelle, M., Désautels, J., & Ruel, F. (1992). *Autour de l'idée de science: itinéraires cognitifs d'étudiants et d'étudiantes.* Canada: Presses de l'Université Laval.

Laube, S., & Stephane, S. (2007). *Un support historique pour la démarche d'investigation : le pont tournant de Brest à recouvrance (1861-1944).* In Actes des journées d'études ReForEHST, 31 mai et 1 er juin 2007, Caen, France.

Lebeaume, J. (2011). L'investigation pour l'enseignement des sciences : actualité des enjeux. In M. Grangeat. *Les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique Pratiques de classe, travail collectif enseignant, acquisitions des élèves* (pp.19-34). Lyon: Ecole Normale Supérieure.

Legendre, M. F. (1994). Problématique de l'enseignement des sciences au secondaire : un état de la question. *Revue des sciences de l'éducation*, *20*, 657-677.

Le Maréchal, J. F. (2010). *L'enseignement de la chimie à l'aide de l'histoire des sciences, obstacles et approche nouvelle.* Actes du Congrès de l'Actualité de la recherche en éducation et en formation, Université de Genève. Repéré à : https://plone.unige.ch/aref2010/symposiums-courts/coordinateurs-en-m/l2019histoire-des-sciences-et-des-techniques-dans-les-cours-de-sciences-en-france-enjeux-ressources-et-activites difficultes/Lenseignement%20de%20la%20chimie.pdf

Lembeck, F. (1953). Zur Frage der zentralen Über tragungafferenter Impulse. Naunyn-Schmiedebergs .*Archivfürexperimentelle Pathologie undPharmakologie*, *219*(3), 197-213.

Lenoir, Y. (2006). Du curriculum formel au curriculum enseigné : comment des enseignants québécois du primaire comprennent et mettent en œuvre le nouveau curriculum de

l'enseignement primaire. In F. Audigier, M. Crahay, et J. Dolz (dir.), *Curriculum, enseignement et pilotage* (p. 119-141). Bruxelles, Belgique : De Boeck.

Loewi, O. (1921). Uber humorale Ubertragbarkeit der Herznervenwirkung, I. PflugersArchiv fur die Gesamte Physiologie des Menschenund der Tierre, 189, 239-242. In J. C. Dupont. *Histoire de la neurotransmission*. Paris, France : Presses Universitaires, 1999, 320p.

Loewi, O. (1935). Problems connected with the principle of humoral transmission of nervous impulse. Proceeding of the Society for Experimental Biology and Medecine, 118, 299-316.In C. Kayser. *Systèmenerveux.Muscle*.(Vol.2). Paris, France: Editions Médicales Flammarion, 1963.

Loewi, O. (1936). Uber humoraleUbertragbarkeit der Herznervenwirkung, XIV: Qualitative und quantitative Untersuchungen uber den Sympathicus-Stoff. *PflugersArchiv fur die Gesamte Physiologie des Menschenund der Tierre*, *273*, 504-514. In J. C. Dupont. *Histoire de la neurotransmission*. Paris, France : Presses Universitaires, 1999, 320p.

Loewi, O. (1937). Uber einewasserunloslicheZustandsform des acetylcholins in Zentralnervensystem des Frosches.*PflugersArchiv fur die Gesamte Physiologie des Menschenund der Tierre*, *239*, 430-439. In J. C. Dupont. *Histoire de la neurotransmission*. Paris, France : Presses Universitaires, 1999, 320p.

López-Muñoz, F., & Alamo, C. (2009). Historical evolution of the neurotransmission concept. *Journal of neural transmission*, 116(5), 515-533.

Lopez-Munoz, F., Boya J., & Alamo, C. (2006). Neuron theory, the cornerstone of neuroscience, on the centenary of the Nobel Prize award to Santiago Ramon y Cajal. *Brain Res Bull*, 70, 391- 405.

Lopez-Munoz, F., Calvo, J. L., & Boya, J. (1997). Algunas consideraciones sobre Cajal y la paternidad de la teorı´a neuronal. *Psiquiatr Biol*, 4, 33-34.

Lorenzo, M., Crouch, C. H., & Mazur, E. (2006).Reducing the gender gap in the physics classroom. *American Journal of Physics*, *74*(2), 118-122.

Lukša, Ž., Radanović, I., Garašić, D., &Perić, M. S. (2016). Misconceptions of Primary and High School Students Related to the Biological Concept of Human Reproduction, Cell Life Cycle and Molecular Basis of Heredity. *Journal of Turkish Science Education*, *13*(3), 143.

M

Macbeth, D. (2000). On an Actual Apparatus for Conceptual Change. *Science Education,84*(2), 228-264.

Madrane, M., Khaldi, M., & Talbi, M. (2009). Un système de formation à l'enseignement des sciences dans le contexte éducatif marocain: Des Conditions Pour Une Evolution Possible. *Contextes et Didactiques*, (3).

Mann, P. J., Tennenbaum, M., & Quastel, J. M. (1938). On the mechanism of acetylcholine formation in brain in vitro. *Biochemische Journal*, *32*, 243-261.

Mann, P. J., Tennenbaum, M., & Quastel, J. M. (1939). The acetylcholine metabolism in the central nervous system. *Biochemische Journal, 33*, 822-835.

Martinand, J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne: Peter Lang.

Marton, F. (1993). Our experience of the physical world.*Cognition and Instruction, 10* (2,3), 227-237.

Masson, S. (2007). Enseigner les sciences en s'appuyant sur la neurodidactique des sciences. *L'enseignement, 308*.

Matteucci, C. (1838). Traité des phénomènes électrophysiologiques des animaux. Vol.1, 348, Fortin et Masson, éd., Paris. In C. Kayser. *Système nerveux. Muscle. (Vol.2).* Paris, France : Editions médicales Flammarion,1963.

Matteucci, C. (1856). On the electrical phenomena which accompany muscular contraction. *Proceeding of the Royal Society of London* (10), 343-347.

Maurines, L. & Mayrargue, A. (2007).*Utiliser l'histoire de l'optique dans l'enseignement: pourquoi? Comment?*Actes des journées de l'UdPPC. Repéré à :http://actescongres.udppc.asso.fr/docactes/2007/185_21032008123615.doc

McIntosh, F. (1941). The distribution of acetylcholine in the peripheral and the central nervous system. *Journal of Physiology, 99,* 436-442.

McIntosh, F., & Paton, W. D. M. (1974). George Lindor Brown. *Biographical Memoirs of the Fellows of the Royal Society, 20*, 41-73, London.

McLennan, H. (1963). *Synaptic transmission*. Philadelphia: Saunders.

Mein, M. T. (1988). Les représentations du cerveau: modèles historiques. *Aster, 7,* 185-204.

Mein, M. T.,& Clément, P. (1988). Comment se représente-t-on aujourd'hui notre cerveau?. In A. Giordan & J. L. Martinand (Éds.), *Communication, éducation et culture scientifique et industrielle, Actes des 10èmes Journées internationales sur l'éducation scientifique*, (pp. 243-252). Paris: UER Didactique, Uni. Paris 7. Consulté le 7 juin 2017, sur ARTheque - STEF - ENS Cachan, http://artheque.ens-cachan.fr/items/show/1460.

Migne, J. (1970). Pédagogie et représentations. *Éducationpermanente*,(119), 11-31.

Mollborn, S., & Hoekstra, A. (2010). A meeting of minds using clickers for critical thinking and discussion in large sociology classes. *TeachingSociology, 38*(1), 18-27.

Monnier, A. M., & Bacq, Z. M. (1935). Recherches sur la physiologie et la pharmacologie du système nerveux autonome, XVI : Dualité du mécanisme de la transmission neuromusculaire de l'excitation chez le muscle lisse. *Archives Internationales de Physiologique, 40*, 485-510.

Monnier, A. M., & Dubuisson, M. (1934). L'action des nerfs extrinsèques du cœur considérée comme phénomène de subordination. *Archives Internationales de Physiologique, 38*, 180-206.

Morin, E. (2014). *Introduction à la pensée complexe*. Paris, France : Points.

Mortimer, E. F. (1995). Conceptual change or conceptual profile change? *Science Education*,*4*(3), 267-285.

Muller, J. (1844). Handbuch der Physiologie des Menschen (T. I, Coblentz, Holscher, éd.). In C. Kayser. *Système nerveux. Muscle*. (Vol.2). Paris, France : Editions médicales Flammarion, 1963.

N

Nachmansohn, D. (1959). *Chemical and molecular basis of nerve activity*. New York: Academic Press.

Nachmansohn, D., & Meyerhoff, B. (1941). Relation between electrical changes during nerve activity and concentration of choline esterase. *Journal of Neurophysiology, 21*, 163-361.

Ndong, L. (2007). Les concepts de la didactique des sciences dans les mémoires professionnels des PLC1 de SVT2 en France et au Gabon. Repéré à : http://aref2007.u-strasbg.fr/actes_pdf/AREF2007_Laurence_NDONG_191.pdf

Neher, E. (1992). Ion channels for communication between and within cells. *Science*, *256*, 498–502.

Nernst, W. (1899). Zur Theorie der elektrischenreizung.Nachrichten von der koniglichen Gesellschaft der wissenschaftenzu Gottingen, Mattematisch-physikalische.Klasse, 1, 104-108.In F. Clarac & J. P. Ternaux. *Encyclopédiehistorique des neurosciences. Du neurone à l'émergence de la pensée.* Bruxelles, Belgique : De Boeck Supérieur.

Nishi, S., & Koketsu, K. (1960). Electrical properties and activities of single sympathetic neurons in frogs. *Journal of Cellular and Comparative Physiology, 55*, 15-30.

Novak, J. D., & Gowin, D.B. (1984). *Learning how to learn*.Cambridge University Press.Idées ASH. Repéré à:http://site google.com//ideeash/pedagogieressources/theories-de-l-apprentissage.

Nussbaum J., & Novick, N. (1982). Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: Toward a principled teaching strategy. *Instructional Science, 11*, 183-200.

O

Orange, C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie*. Paris, France : Presses universitaires.

Ouertatani, L. (2009). *L'enseignement-apprentissage des acides et des bases en Tunisie : une étude transversale du lycée à la première année d'université*. Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux 2 et de Tunis.

Özmen, H. (2004). Some student misconceptions in chemistry: A literature review of chemical bonding. *Journal of Science Education and Technology*, *13*(2), 147-159.

P

Paccaud, M. (1991). Les conceptions comme levier d'apprentissage du concept de respiration, *Aster* (13), 35-38.

Palade, G. E., & Palay, S. L. (1954). Electron microscopy observations of interneuronal and neuromuscular synapses. *Anatomical Record, 118,* 3-35.

Paton, W. D. M. (1958). Central and synaptic transmission in the nervous system (pharmacological aspects). *Annual Review of Physiology, 20,* 431-470.

Paton, W. D. M. (1959). The effects of muscle relaxants other than muscular relaxation. Anesthesiology. *Journal of the American Society of Anesthesiologists, 20*(4), 453-463.

Paun, E. (2006). Transposition didactique: un processus de construction du savoir scolaire. *Carrefours de l'éducation,* (2), 3-13.

Pavlov, I. (1955). *Œuvres choisies*. Moscou, Russie : Edition en langues étrangères.

Périlleus, E., Richard, D., Anselme, B., Demont, J-M. & Valet, P. (1999). *Biologie humaine. Anatomie- Physiologie – Santé*. Paris, France : Nathan/ HER.

Pernow, B. (1953). Studies on substance P: purification, occurrence and biological actions. *Acta Physiologica of Scandinavia, 29,* 1-90.

Perrenoud, P. (1998). La transposition didactique à partir de pratiques : des savoirs aux compétences. *Revue des sciences de l'éducation, 24*(3), 487–514.

Posner, G.J., Strike, K. A., Hewson, P. W. & Gertzog, W.A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education, 66*(2), 211-227.

Potvin, P. & Thouin, M. (2003). Étude qualitative d'évolutions conceptuelles en contexte d'explorations libres en physique-mécanique au secondaire. *Revue des sciences de l'éducation*, *29*(3), 525–544.

R

Ramon y Cajal, S. (1888). Estructura de los centrosnerviosos de las aves. *Revistatrimesta de Histologia normale y patologica,* 1, 305-315. In J. C. Dupont. *Histoire de la neurotransmission.* Paris, France : Presses Universitaires, 1999, 320p.

Rapport de l'Académie des sciences Groupe de Travail (2007). *Comment réussir sa première année à l'université dans le domaine des sciences.Réforme de l'Enseignement Supérieur en France dans le domaine des sciences.* Institut de France. Académie des sciences.

Remak, R. (1838). *Observations anatomiques et microscopiques de systèmes nerveux structurés.* Thèse de Doctorat, Université de Berlin.

Richard, D., & Orsal, D. (2001). *Neurophysiologie. Organisation et fonctionnement du sydtème nerveux*. Paris, France : Dunod.

Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg- Henriksson, H., & Hemmo, V. (2007*). L'enseignement scientifique aujourd'hui : une pédagogie renouvelée pour l'avenir de l'Europe.*Commission européenne/Bruxelles.[Rapport en ligne] Disponible sur http://ec. europa. eu.

Rolland, J. M. (2006). L'enseignement des disciplines scientifiques dans le primaire et le secondaire. Commission des affairesculturelles, familiales et sociales. Assemblée nationale. http://www.assemblee-nationale.fr/12/rap-info/i3061.asp. In M. Coquidé, C. Fortin, & G. Rumelhard. (2009). *L'investigation : fondements et démarches, intérêts et limites*.Aster, 8, 49-76.

Romainville, M. (2002). *L'évaluation des acquis des étudiants dans l'enseignement universitaire.* Paris : Rapport établi à la demande du Haut Conseil de l'évaluation de l'école. http://cisad.adc.fr/hcee/publications-2003.html.

S

Sadi, O. (2014). Students' Conceptions of Learning in Genetics: A PhenomenographicResearch .*Journal of Turkish Science Education*, *11*(3), 53-63.

Schaeffer, H., & Scharrer, B. (1963). *Neuroendocrinology*. New York, Colombia University Press.

Sakmann, B. (1992). Elementary steps in synaptic transmission revealed by currentsthrough single ion channels. *Science*, *256*, 503–512.

Sauvé, L., Debeurme, G., Wright, A., Racette, N., & Pépin, K. (2009). Validation d'un dispositif en ligne d'aide à la persévérance aux études postsecondaires. *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire/International Journal of Technologies in Higher Education*, *6*(2-3), 71-79.

Schmidt, H. J. (1997). Students' misconceptions looking for a pattern. *Science Education*, 81, 123-135.

Schneider, M., & Stern, E. (2010). The developmental relations between conceptual and proceduralknowledge: A multimethod approach. *Developmental Psychology*, *46*, 178‑192.

Sencar, S., Yilmaz, E., & Eryilmaz, A. (2001). High School Students misconceptions about simple electric circuits. *Hacettepe-niversitesi Egitim Fakultesi Dergisi*, *21*,113-120.

Sherrington, C. S. (1897). *The central nervous system (7e éd.). An Appendix to Foster's Text Book of Physiology.*London: Macmillan.

Soudani, M. (1998). *Conceptions et obstacles dans l'enseignement-apprentissage de l'oxydoréduction : Contribution à une épistémologie appliquée à la construction curriculaire.* Thèse de doctorat, Université Montpellier II, France.

Soula, L. C. (1947). *Précis de Physiologie.* Paris, France : Masson.

Sourkes, T. L. (1977). Background to the levodopa treatment of Parkinson's disease. *Primary Care*, *4*, 529-532.

Sourkes, T. L., & Gauthier, S. (1983). Levodopa and dopamine agonists in the treatment of Parkinson's disease, in J. Parnham, J. Bruinvels. Discoveries in Pharmacology, I, Amsterdam-New York-Oxford, *Elsevier*, 249-267.

Starling, E. H. (1905). The chemical control of the functions of the body. *Lancet, 2,* 239-341.

Stephenson, R. P. (1956). A modification of receptor theory. *Britanic Journal of Pharmacology, 11,* 379-393.

Stolz, F. (1903). Uber Adrenalin und Alkylaminoacetobrenzcatechin. *Berichte der deutschenchemischenGessellschaft, 37,* 4149-4154.

Swammerdam, J. (1738). Biblia naturae ;sive, historiainsectoum in classes certasredacta, t.2, Leyde. In C. Kayser. *Système nerveux. Muscle*. (Vol.2). Paris, France : Editions médicales Flammarion, 1963.

T

Takamine, J. (1901). The blood pressure-raising principle of the suprarenalsglands. A preliminary report. *TheTherapeutical Gazette, 16,* 221-224.

Takeuchi, A., & Takeuchi, N. (1962). Electrical changes in pre and postsynaptic axons of the giant synapse of loligo. *Journal of General Physiology, 45,* 1181-1193.

Tardif, E., & Doudin, P. A. (2011). Neurosciences cognitives et éducation : le début d'une collaboration. *Formation et pratiques d'enseignement en questions, 12,* 99-120.

Tauc, L., & Gerschenfeld, H. M. (1961).Cholinergic transmission mechanism for both excitation and inhibition in a molluscan central synapse.*Nature, 192,* 366-367.

Tavignot, P. (1995). À propos de la transposition didactique en didactique des mathématiques. *Spirale-Revue de recherches en éducation, 15*(1), 31-60.

Taxi, J. (1980). Système nerveux (tissue nerveux) et Synapse (cytologie). In *Encyclopedia Universalis*, vol.11, 702-708 ; vol.15, 641-646.

Thouin, M. (2004). *Enseigner les sciences et la technologie au préscolaire et au primaire*. Québec, Canada: MultiMondes.

Treagust, D. F., & Duit, R. (2008). Conceptual change: A discussion of theoretical, methodological and practical challenges for science education. *Cultural Studies of Science Education, 3,*297-328.

Trethewie, E. R. (1938). Synthesis of acetylcholine by brain tissue. *AustralianJournal of Experimental Biology and Medical Science, 16,* 225-243.

Triggle, D. J. (1965). *Chemical aspects of the automatic nervous system*. London-New York Academic Press.

Trouch, L., Cazes, C., Jarraud, P., Rauzy, A., & Mercat, C. (2011). Transition lycée-université, pensée des dispositifs d'appui. *International Journal of Technologies in Higher Education, 8*(1-2), 37-47.

Trudel, P. & Gilbert, W. (1999). Compléter la formation des chercheurs avec le logiciel NUD* IST. *Recherchesqualitatives*, *20*, 87-111.

Turner, S. (2004). Going to college and finishing college. Explaining different educational outcomes. In College choices: *The economics of where to go, when to go, and how to pay for it* (pp. 13-62). University of Chicago Press.

Twarog, B. M. (1954). Respons of a molluscan sooth muscle to acetylcholine and 5-hydroxytyptamine. *Journal of Cellular and Comparative Physiology*, *44*, 141-163.

Twarog, B. M., & Page, I. H. (1953). Serotonin content of some mammalian tissues and urine and a method for its determination. *American Journal of Physiology*, *175*, 157-161.

V

Valentin, G. G. (1836). Uber den Verlauf und die letzten Enden der Nerven. *Nova Acta Phys-Med Acad Leopoldina Breslau*, 18, 51–240.

Vanpee, D., Godin, V., & Lebrun, M. (2008).Améliorer l'enseignement en grands groupes à la lumière de quelques principes de pédagogie active. *Pédagogie médicale*, *9*(1), 32-4. Repéré à http://dx.doi.org/10.1051/pmed:2008032

Venturini, P., & Tiberghien, A. (2012). La démarche d'investigation dans le cadre des nouveaux programmes de sciences physiques et chimiques : étude de cas au collège. *Revue française de pédagogie.Recherches en éducation*, (180), 95-120.

Verret, M. (1975). *Le temps des études*. Paris, France : Honoré Champion.

Viennot, L. (1988). Obstacles épistémologiques et raisonnements en physique : tendance au contournement des conflits chez les enseignants. In B. Bernadrz& C. Garnier (Eds).*Construction des savoirs : obstacles et conflits* (pp. 117-129). Montreal, Canada: CIRADE.

Virchow, R. (1855). Cellular-Pathologie. *Virchow Archiv*, 8, 3-39.

Vlassis, J., De Landsheere, V., & Mélon, C. (2002). L'enseignement des sciences par énigmes scientifiques : les enseignants se posent des questions. *Cahiers du Service de Pédagogie expérimentale - Université de Liège*, *9-10*, 169-175.

Vogt, M. (1954). The concentration of sympathin in different parts of the central nervous system under normal conditions and after the administration of drugs. *Journal of Physiology*, *123*, 451-481.

Vogt, M. (1975). Nervous influences in endocrins activity. In J. Meites, B. T. Donovan, S. M. McCann. *Pioneers in neuroendocrinology,I,*(pp. 315-321). New York- London, Plenum Press.

Volta, A. (1795). Briefe uber thierisheelektricitat.Edités par Antinori, Florence, 1816. In C. Kayser. *Système nerveux. Muscle.(Vol.2).*Paris, France :Editions médicales Flammarion, 1963.

Vosniadou, S. (2002).On the Nature of Naïve Physics. In M. Limon & L. Mason (éd), *Reconsidering the Processes of Conceptual Change issues in theory and practice* (pp. 61-76). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic.

Vosniadou, S. (2008). Conceptual change research: an introduction. In S.Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp.13-20). New York: Routledge.

Vosniadou, S., & Ioannides, Ch. (1998). From Conceptual Development to Science Education: a Psychological Point of View. *International Journal of Science Education*, *20*(10), 1213-1230.

Vulpian, A. (1866). *Leçons sur la physiologie générale et comparée du système nerveux*. Paris, France :Baillière.

W

Waldeyer, W. (1891). Ueber einige neuere Forschungen im Gebiete der Anatomie des Centralnervensystems1. *DMW-Deutsche Medizinische Wochenschrift*, 17(44), 1213-1218.

Wandersee, J. H., Mintzes, J. J., & Novak, J. D. (1994).Research in Alternative Conceptions in Science: Part II Learning. In D. L. Gabel (Éd.).*Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (pp.177-210).

Wanlin, P. (2007). L'analyse de contenu comme méthode d'analyse qualitative d'entretiens: une comparaison entre les traitements manuels et l'utilisation de logiciels. *Recherchesqualitatives, 3*(3), 243-272.

Whittaker, U., Michaelson, I., & Kirland, R. (1964). The separation of synaptic vesicles from nerve endings particles (Synaptosomes). *Biochemical Journal, 90,* 293-303.

Y

Young, J. Z. (1936). Memoirs: The Giant Nerve Fibres and Epistellar Body of Cephalopods. *Journal of Cellular Science, 2*(311), 367-386.

Young, R.M. (1990). *Mind, Brain and Adaptation in the Nineteenth Century*. Éd., New York, Oxford UniversityPress.

Z

Zouaoui, M. (2005). L'enseignement supérieur depuis l'indépendance : la dégradation de la qualité était-elle inéluctable?

ANNEXES

Annexe 1: Questionnaire sur la langue française soumis aux étudiants de la filière Sciences de la Vie

Université Sidi Mohamed Ben Abdellah
Faculté des Sciences
Laboratoire de Didactique, d'innovation Pédagogiques et Curriculaire

Ce questionnaire est élaboré dans le cadre d'un travail de recherche sur l'enseignement/Apprentissage des Sciences de la Vie et de la Terre. Objet d'une thèse se déroulant dans le laboratoire de Didactique et d'Innovation Pédagogique et Curriculaire (LADIPEC).

Questionnaire

1)-Votre avis sur la langue française:

☐ Langue de la recherche scientifique.

☐ Dépassée par l'anglais.

☐ Une langue difficile

2)-Est-ce que vous êtes conscient(e)s de l'utilité de la langue française dans votre cursus universitaire ?

☐ Oui ☐ Non ☐ je ne sais pas

3)-Comment vous trouvez les cours de la Langue et Terminologie à la Faculté des Sciences ?

☐ Très utile

☐ Utile

☐ Inutile

☐ Autres choix:

4)-Que pensez-vous du temps alloué à l'enseignement du module Langue et Terminologie ?

☐ Suffisant

☐ Insuffisant

☐ Je ne sais pas

5)-Est-ce que vous assistez aux cours de Langue et Terminologie ?

- ☐ J'assiste régulièrement.
- ☐ J'assiste parfois.
- ☐ Je n'assiste jamais.

6)-Avez-vous des problèmes en langue française ?

☐ Oui ☐ Non

7)-Quels sont ces problèmes :

- ☐ Problèmes de compréhension des cours magistraux.
- ☐ Problèmes de compréhension des travaux dirigés et des travaux pratiques.
- ☐ Problèmes de communication et d'expression.
- ☐ Problèmes de vocabulaire utilisé.

8)- Est-ce que vous arrivez à comprendre le cours de la biologie ?

- ☐ Entièrement.
- ☐ Relativement.
- ☐ Pas du tout.

Si vous répondez par « Relativement » ou «Pas du tout », Dites pourquoi ?

- ☐ Difficulté des concepts scientifiques enseignés.
- ☐ Le vocabulaire utilisé par l'enseignant(e).
- ☐ Le type de discours utilisé
- ☐ le temps alloué à l'enseignement des concepts biologiques.

Merci bien

Annexe 2: Questionnaires soumis aux étudiants sur la neurotransmission durant les deux années universitaires 2015-2016 & 2016-2017 .

Université Sidi Mohamed Ben Abdellah
Faculté des Sciences
Laboratoire de Didactique, d'innovation Pédagogiques et Curriculaires

Ce questionnaire est élaboré dans le cadre d'un travail de recherche sur l'enseignement/Apprentissage des Sciences de la Vie et de la Terre. Objet d'une thèse se déroulant dans le laboratoire de Didactique et d'Innovation Pédagogique et Curriculaire (LADIPEC).

Questionnaire (Pré-test)

1)- La nature de la propagation de l'influx nerveux:

☐ Continue ☐ Discontinue

2)-La nature du message nerveux :

☐ Electrique ☐ Chimique ☐ Les deux (électrique et chimique)

3)-La transmission de l'influx nerveux se fait par l'intermédiaire du :

☐ Neurone ☐ Synapse ☐ Axone

4)-Cochez la bonne réponse :

*La synapse :

☐ Une zone de contact spécialisée dans la transmission des messages nerveux.

☐ Est formée par l'élément présynaptique et l'élément postsynaptique.

☐ Désigne l'espace entre l'élément présynaptique et l'élément postsynaptique.

5)-Les types de la synapse sont au nombre de :

☐ 2

☐ 3

☐ 5

6)-Donner un schéma type d'une synapse.

7)- Cochez la bonne réponse :

*Neurone :

- ☐ Une cellule nerveuse composée d'un noyau entouré de structures en forme d'étoiles (dendrites) et d'un long prolongement (axone).
- ☐ La seule cellule qui constitue notre cerveau.
- ☐ Assure la transmission de l'influx nerveux.

8)-Donner un schéma d'un neurone

9)- Qu'est ce qu'un neurotransmetteur ?

10)- Est-ce que vous pouvez donner une définition de la transmission synaptique ?

Merci Bien

Université Sidi Mohamed Ben Abdellah
Faculté des Sciences
Laboratoire de Didactique, d'innovation Pédagogiques et Curriculaires

Ce questionnaire est élaboré dans le cadre d'un travail de recherche sur l'enseignement/Apprentissage des Sciences de la Vie et de la Terre. Objet d'une thèse se déroulant dans le laboratoire de Didactique et d'Innovation Pédagogique et Curriculaire (LADIPEC).

Questionnaire (Post-test)

1)- La nature de la propagation de l'influx nerveux:

☐ Continue ☐ Discontinue

2)-La nature du message nerveux :

☐ Electrique ☐ Chimique ☐ Les deux (électrique et chimique)

3)-La transmission de l'influx nerveux se fait par l'intermédiaire du :

☐ Neurone ☐ Synapse ☐ Axone

4)-Cochez la bonne réponse :

*La synapse :

☐ Une zone de contact spécialisée dans la transmission des messages nerveux.

☐ Est formée par l'élément présynaptique et l'élément postsynaptique.

☐ Désigne l'espace entre l'élément présynaptique et l'élément postsynaptique.

5)-Les types de la synapse sont au nombre de :

☐ 2

☐ 3

☐ 5

6)-Donner un schéma type d'une synapse.

7)- Cochez la bonne réponse :

*Neurone :

- ☐ Une cellule nerveuse composée d'un noyau entouré de structures en forme d'étoiles (dendrites) et d'un long prolongement (axone).
- ☐ La seule cellule qui constitue notre cerveau.
- ☐ Assure la transmission de l'influx nerveux.

8)-Donner un schéma d'un neurone

9)- Qu'est ce qu'un neurotransmetteur ?

10)- Est-ce que vous pouvez donner une définition de la transmission synaptique ?

Merci Bien

Annexe 3 : Questionnaire sur la Démarche d'Investigation soumis aux enseignants du secondaire qualifiant de la ville de Fès.

Université Sidi Mohamed Ben Abdellah
Faculté des Sciences
Laboratoire de Didactique, d'Innovation Pédagogiques et Curriculaires

Nous comptons beaucoup sur votre aide pour faire aboutir ce travail qui rentre dans le cadre d'un travail de recherche d'une thèse se déroulant dans le laboratoire de Didactique et d'Innovation Pédagogique et Curriculaire (LADIPEC). Merci infiniment

Questionnaire

Ce questionnaire se fait dans le cadre des travaux de recherche sur l'Enseignement/ Apprentissage des Sciences d'une thèse, merci beaucoup pour votre aide.

1) –Vous avez déjà entendu parler de la Démarche d'Investigation?

☐ Oui ☐ Non

2) – La Démarche d'Investigation est une:

☐ Démarche scientifique fondée sur le questionnement et l'investigation.

☐ Démarche basée sur l'investigation concernant les obstacles d'apprentissages des élèves

☐ Je ne sais pas

3) – Est-ce que vous avez déjà bénéficié d'une formation continue concernant la Démarche d'Investigation ?

☐ Oui ☐ Non

4) – Est-ce que vous adoptez la Démarche d'Investigation dans votre enseignement ?

☐ Oui ☐ Non

5) – Selon vous, quelles sont les contraintes qui empêchent l'adoption de la Démarche d'Investigation?

☐ Programme chargé

☐ Manque d'autonomie des élèves

☐ Surcharge du nombre des élèves par classe

☐ Autres :

Merci bien

جامعة سيدي محمد بن عبد الله بفاس
UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDALLAH DE FES
كلية العلوم ظهر المهراز فاس
FACULTE DES SCIENCES DHAR EL MEHRAZ FES

Résumé

Titre : **LA NEUROTRANSMISSION : Des principes et Conceptions aux obstacles d'apprentissage au premier cycle universitaire.**

Dans les sciences de la vie, les sciences du cerveau sont l'une des aventures scientifiques les plus riches et les plus surprenantes du XX^{e} siècle. L'histoire de la neurotransmission est à la fois une histoire de la formation du neurotransmetteur et de l'opposition de deux théories, l'une électrique et l'autre chimique. Les fondements de cette théorie sont perçus par les étudiants comme ardus et difficile à assimiler.

Cette recherche en didactique s'inscrit dans une problématique curriculaire générale. Elle consiste en une double analyse épistémologique et didactique du fonctionnement du concept de la neurotransmission, qui va de la réflexion sur les processus de sa construction chez les savants à travers l'histoire jusqu'à l'identification des problèmes qui se posent lors de son enseignement/apprentissage. Nous avons conjugué deux analyses indispensables dans le travail didactique. En effet, l'analyse des fondements épistémologiques et didactiques de la neurotransmission nous a montré que l'histoire de ce concept n'est ni linéaire ni théoriquement isolée. Aussi, l'évolution dans sa transposition didactique au cours des années a mis en évidence une différence dans les démarches d'introduction et d'enseignement de ce contenu. L'analyse des conceptions des étudiants de la deuxième année du premier cycle universitaire de la filière Sciences de la Vie nous a permis de mettre en évidence une pléiade de difficultés et d'obstacles d'ordre conceptuels et langagiers. L'ensemble des résultats issus des expérimentations réalisées, nous a mené à adopter une démarche pédagogique interactive dans l'apprentissage de la neurotransmission à l'université. En effet, cette démarche a eu un en effet positif sur l'évolution des conceptions des étudiants dans le sens de construire un savoir scientifique adéquat et cohérent de la neurotransmission.

Mots clés : Neurotransmission, conception, transposition didactique, évolution, démarche pédagogique, théorie électrique, théorie chimique.