كلية العلوم و التقنيات فاس
Faculté des Sciences et Techniques de Fès

جامعة سيدي محمد بن عبد الله
Université Sidi Mohamed Ben Abdellah

Département d'Informatique

Projet de fin d'études

Master Sciences et Techniques
Systèmes Intelligents & Réseaux

Application multiplateforme basée sur un système expert pour la détection des lésions du système nerveux

Lieu du stage : Service Neurologie du CHU Hassan II & Laboratoire SIA du FSTF

Réalisé par :

- Ayoub Ouarti
- Roaya Negro

Encadré par :

- Pr. Aicha Majda
- Pr. Mohamed Faouzi Belahsen
- Dr. Younes El hassani
- Mr. Abdelhamid El hassani

Soutenu le 11.06.2018 devant le jury composé de :

- Pr. Ilham Chaker	Faculté des Sciences et Techniques de Fès	(Présidente)
- Pr. Khalid Zenkouar	Faculté des Sciences et Techniques de Fès	(Examinateur)
- Pr. Loubna Lamrini	Faculté des Sciences et Techniques de Fès	(Examinatrice)
- Pr. Aicha Majda	Faculté des Sciences et Techniques de Fès	(Encadrante)
- Pr. Mohamed Faouzi Belahsen	Service de neurologie du CHU Fès	(Encadrant)

Année Universitaire 2017 - 2018

Dédicace

Au nom d'Allah le tout miséricordieux, le très miséricordieux.

À la mémoire de mon Père, À ma très chère mère, Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être. Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours. Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez.

À ma très chère partenaire Roeya NEGRO, j'ai passé cinq ans avec toi en binôme, nous avons partagé ensemble des moments inoubliables.

À mon cher frère ElHouçine, mon cher oncle BENNIS MOHAMED, ma famille, mes chers amis Ahmed THAICHA, Abderazzak LAHMIDI et à tous les membres du club espoir.

OUARTI Ayoub.

À vous, mes chers parents Safia et Abdelrahim pour tous vos sacrifices, votre amour et vos prières tout au long de mes études. Merci d'être toujours là pour moi.

À la très cher famille Zaoui, je serai toujours reconnaissante pour votre précieux soutien moral et matériel.

À mon partenaire Ayoub, j'avais le plaisir de partager avec toi un grand nombre de travaux tout au long de notre parcours universitaire. Merci pour ton soutien et ton encouragement permanents.

À mes chers frères Abdelilah et abdelhadi.

À mes chères amies.

À tous les membres du club espoir.

NEGRO Roaya.

Veuillez trouver dans ce modeste travail l'expression de nos affections.

Remerciement

Nos premiers remerciements vont à madame Aicha Majda, Professeur habilité à la faculté des Sciences et Techniques Fès Sais et membre du Laboratoire des Systèmes Intelligents et Applications, pour nous avoir confié ce projet intéressant et pour son esprit collaboratif.

Nos remerciements s'adressent également à professeur Mohamed Faouzi Belahsen, Professeur à la Faculté de médecine et de pharmacie et Chef de service de neurologie du Centre Hospitalier Universtaire Hassan II Fès pour son bonne orientation avisée et son encouragement.

Nous souhaitons exprimer toutes nos gratitudes à Dr. Younes El hassani, médecin au Service de Réanimation Pédiatrique & Gynéco - Obstétrique (RME) du CHU Hassan II Fès, nous reconnaissons son enthousiasme et créativité pour la réalisation de ce projet, nous le remercions pour sa patience et pour le temps qu'il nous 'a consacré durant tout le stage.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à Mr. Abdelhamid El hassani, doctorant au laboratoire des Systèmes Intelligents et Applications pour nous avoir accompagné tout au long de la réalisation de ce projet avec l'aide, les conseils et les mots d'encouragement positifs.

Nous remercions également tous les enseignants du département informatique qui ont si bien simulés leur quête d'enseignement.

Nous exprimons finalement nos remerciements aux professeurs : Ilham Chaker, Khalid Zenkouar et Loubna Lamrini les membres de jury de nous avoir fait l'honneur d'accepter d'évaluer ce travail.

Résumé

L'affection du système nerveux périphérique ou la neuropathie périphérique, est une maladie neurologique assez fréquente, elle présente une difficulté de la prise en charge diagnostique. Le neurologue ne trouve pas un outil d'aide qui va lui permettre de se prononcer aussi facilement, rapidement et précisément sur la topographie lésionnelle.

LPNIUL dans ses deux premières versions a présenté un modèle computationnel qui propose une nouvelle approche combinant à la fois la neuroscience et l'informatique médicale, pour aider le praticien à se prononcer facilement sur la neuropathie périphérique.

Ce travail vise à développer une version intelligente et améliorée de LPNIUL, tout en gardant l'objectif principal des anciennes versions. LPNIUL v3 couvre tout le plexus brachial et offre tous les types des examens cliniques et Electro-Neuro-Myo-Grammes.

La solution technique adoptée est le système expert, une solution de l'Intelligence Artificielle reposant sur la séparation entre la partie programmation, le système de contrôle qui simule le raisonnement du neurologue et la partie base de connaissances contenant l'expertise. La réalisation de ce système a permis une meilleure connaissance du siège de la lésion, les résultats sont logiques et très encourageants.

Mots clés : système expert d'aide à la décision médicale, neuroscience computationnelle, application multiplateforme, système nerveux, neuropathie périphérique.

Abstract

The peripheral nervous system disease or the peripheral neuropathy, is a quite frequent neurological disease, it presents a difficulty during diagnosis. The neurologist cannot find a support tool, which allows him to pronounce as easily, quickly and precisely on the lesion topography.

LPNIUL in its two previous versions presented a computational model proposes a new approach combining both neuroscience and medical computer science, to help the practitioner to pronounce easily on the peripheral neuropathy.

This project aims to develop an intelligent and improved version of LPNIUL, whilst keeping the main purpose of the previous versions. LPNIUL v3 covers the whole brachial plexus and offers all types of clinical examinations as well as the Electro-Neuro-Myo-Grams

The technical solution adopted is the expert system, a solution of Artificial Intelligence based on the separation between the programming part, the control system that simulates the neurologist's reasoning and the knowledge base part containing the expertise.

The building of this system led to a better knowledge of the seat of the lesion, the results are logical and very encouraging.

Key words: expert system of medical decision support, computational neuroscience, multiplatform application, nervous system, peripheral neuropathy.

ملخص

مرض الجهاز العصبي المحيطي أو ما يصطلح عليه بالاعتلال العصبي المحيطي، هو مرض عصبي جد شائع وصعب التشخيص. تكمن هده الصعوبة في التكوين المعقد للجهاز العصبي وبالخصوص الطرف العلوي. مع الأسف، لا توجد هناك اداة مساعدة، سهلة الاستعمال ومتوفرة فوريا لدا الطبيب لتساعده في التشخيص بدل البحت في المناهج والكتب.

قدمت " **لبنيول** " في نسختها الأولى نموذجًا حاسوبيًا يقترح منهجًا جديدًا يجمع بين علم الأعصاب وتكنولوجيا معلوماتية طبية لمساعدة طبيب الأمراض العصبية على تشخيص الاعتلال العصبي المحيطي بسهوله.

يهدف هذا العمل إلى تطوير نسخة ذكية ومحسنة من " **لبنيول** "، مع الحفاظ على الهدف الرئيسي للإصدارات القديمة. حيت انه هده النسخة تغطي الضفيرة العضدية بأكملها وتقدم جميع أنواع الفحوص السريرية.

إن الحل التقني المعتمد في هده النسخة الذكية هو نظام الخبراء، وهو حل من حلول الذكاء الاصطناعي القائم على الفصل بين البرمجة، نظام التحكم الذي يحاكي تفكير أخصائي الأعصاب وقاعدة البيانات التي تمثل خبرة الطبيب. وقد سمح تطبيق هذا النظام بمعرفة مكان الآفة بشكل أفضل، فكانت النتائج منطقية ومشجعة للغاية.

الكلمات المفتاحية: نظام ذكي لدعم القرار الطبي، العلوم العصبية الحاسوبية، تطبيق متعدد المنصات، الجهاز العصبي، الاعتلال العصبي المحيطي.

Table des matières

Résumé iii
Abstract iv
ملخص v
Liste des tableaux ix
Liste des figures x
Lise d'Acronymes et Abréviation xii
Introduction générale 1
Chapitre 1 : Contexte général du projet 2
1. Les organismes d'accueil 2
1.1. Le Service Neurologie du CHU II 2
1.2. Le Laboratoire des Systèmes Intelligents et Applications, FST Fès 2
2. Présentation du système nerveux humain 3
2.1. La structure d'un nerf 3
2.2. Le système nerveux central 4
2.3. Le système nerveux périphérique 4
2.4. L'échange de l'information entre le système nerveux central et périphérique 5
3. Le plexus brachial 6
3.1. Définition anatomique descriptive 7
4. La neuropathie 11
5. Le diagnostic topographique 12
6. Problématique 13
6.1. Introduction 13
6.2. Exemples des applications dans la neurologie 14
6.3. LPNIUL dans sa première version, caractéristiques et limites 16
6.4. LPNIUL dans sa deuxième version, caractéristiques et limites 18
7. Notre solution : LPNIUL, la 3ème version 21
Chapitre 2 : Analyse et conception 22
1. Gestion du projet 22
1.1. Diagramme de Gantt 22
1.2. Planification 24
2. Analyse des besoins fonctionnels 24
2.1. Identification des acteurs 24
2.2. Fonctionnalités principales 24
3. Analyse des besoins non fonctionnels 27

3.1. Maintenabilité 27
3.2. Convivialité 27
3.3. Exploitabilité 28
4. Conception 28
4.1. Diagrammes de cas d'utilisation 28
4.2. Diagramme de séquences 32
5. Spécifications techniques 35
5.1. Unity3D 35
5.2. NGUI 36
5.3. CSharp (C#) 36
5.4. Microsoft Visual Studio 36
5.5. NRules 37
5.6. Entreprise Architect 37
5.7. Adobe Photoshop 37
Chapitre 3 : Système expert LPNIUL d'aide à la décision médical 38
1. Les systèmes d'aide à la décision médicale 38
1.1. La notion de la décision 38
1.2. Définitions des systèmes d'aide à la décision médicale 38
1.3. La typologie des SADM 39
1.4. Approches des SADM 39
2. Systèmes Experts d'aide à la décision médicale 41
2.1. Définitions et objectifs 41
2.2. Les composants d'un système expert 41
2.3. Exemples des systèmes experts pour l'aide à la décision médicale 43
3. Architecture et réalisation du système expert LPNIUL 43
3.1. L'approche LPNIUL 44
3.2. La base des faits 45
3.3. La base des règles 47
3.4. Le moteur d'inférence 48
3.5. Le cycle du SE LPNIUL 49
Chapitre 4 : Réalisation 55
1. Logo et acronyme 55
2. Interfaces et rubriques 55
2.1. Interface du chargement 56
2.2. Interface d'accueil 56
Conclusion générale 64

Webographie 65

Liste des tableaux

Tableau. 1 : Panorama des approches utilisées pour l'aide à la décision diagnostique et thérapeutique..... 39
Tableau. 2 : Exemples des systèmes experts d'aide à la décision médicale 43

Liste des figures

Figure. 1 : Le système nerveux 3
Figure. 2 : Schéma de la moelle épinière et nerfs rachidiens 4
Figure. 3 : Le système nerveux central 4
Figure. 4 : Le système nerveux périphérique 5
Figure. 5 : La circulation de l'information entre le SNC et le SNP 5
Figure. 6 : Le plexus brachial 7
Figure. 7 : L'anatomie du plexus brachial 8
Figure. 8 : Le schéma du plexus brachial 8
Figure. 9 : Capture d'écran de l'application Nerve Whiz 14
Figure. 10 : Capture d'écran de l'application Neuro Localizer 15
Figure. 11 : Interfaces Accueil et Atteinte motrice - LPNIUL v1 16
Figure. 12 : Interface Visualiser et Résultats -LPNIUL v1 17
Figure. 13 : Interface Atteinte motrice - LPNIUL v2 18
Figure. 14 : Interface Atteinte sensitive - LPNIUL v2 19
Figure. 15 : Interface Résultats, Atteinte ROT et EMG 20
Figure. 16 : Diagramme de Gantt LPNIUL v3 23
Figure. 17 : Diagramme de cas d'utilisation global 29
Figure. 18 : Diagramme de cas d'utilisation Atteinte motrice 30
Figure. 19 : Diagramme des cas d'utilisation Historique 31
Figure. 20 : Diagramme des cas d'utilisation Résultats 32
Figure. 21 : Diagramme de séquence Choix d’un muscle de l’atteinte motrice 33
Figure. 22 : Diagramme de séquence Historique et Réinitialisation 34
Figure. 23 : Diagramme de séquence Réinitialisation 35
Figure. 24 : Architecture générale d'un système expert 41
Figure. 25 : Moteur d'inférence du système expert 42
Figure. 26 : Base des faits LPNIUL 46
Figure. 27 : logo LPNIUL 55
Figure. 28 : Interface de chargement 56
Figure. 29 : Interface d'accueil 56
Figure. 30 : A propos 57
Figure. 31 : Plus d'informations 57
Figure. 32 : schéma du plexus brachial 57
Figure. 33 : Atteinte motrice liste des muscles de l'épaule 57
Figure. 34 : Atteinte motrice Muscle 57
Figure. 35 : Atteinte motrice 57
Figure. 36 : Atteinte motrice liste des fonctions de la main 58
Figure. 37 : Atteinte motrice Fonction 58
Figure. 38 : Insérer l'examen +/- 58
Figure. 39 : Face Postérieure du bras 58
Figure. 40 : Face Antérieure du bras 58
Figure. 41 : Atteinte Sensitive 58
Figure. 42 : Zoom des territoires sensitifs 59
Figure. 43 : ENMG liste des Conductions Motrices 59
Figure. 44 : ENMG moteur 59
Figure. 45 : ENMG 59
Figure. 46 : Barre de Fonctionnalités 60

Figure. 47 : Maquette du Plexus brachial 60
Figure. 48 : Maquette des Nerfs terminaux Ulnaire, Radial et Médian 61
Figure. 49 : Résultats, Visualiser et lister les signes +/- de chaque section 62
Figure. 50 : Testing 63
Figure. 51 : Historique 63
Figure. 52 : Livrable multiplateforme 63

Lise d'Acronymes et Abréviation

LPNIUL : Localizer of Peripheral Nerve Injury in the Upper Limb.

SNC : Système Nerveux Central.

SNP : Système Nerveux Périphérique.

ROT : Réflexes OstéoTendineux.

EMG : ElectroMyoGraphie.

ENMG : ElectroNeuroMyoGrammes.

SE : Système Expert.

SADM : Système d'Aide à la Décision Médical.

BDR : Base Des Faits.

BDR : Base Des Règles.

CHU : Centre Hospitalier Universitaire.

FST : Faculté des Sciences et Techniques.

SIA : Système Intelligents et Applications.

FMP : Faculté de Médecine et de Pharmacie.

Introduction générale

Du fait de l'accroissement continu des connaissances médicales, Les médecins, qu'ils soient généralistes ou spécialistes, ne peuvent plus maîtriser ce grand ensemble du savoir médical permettant de reconnaître les maladies ou de déterminer la meilleure prise en charge thérapeutique. Dans le monde de neurologie, le diagnostic topographique d'une lésion des nerfs périphériques, particulièrement celle du membre supérieur, est l'une des démarches les plus difficiles à cause de la complexité et la richesse anatomique et physiologique du système nerveux.

En 2015, le premier prototype de LPNIUL a été réaliser. Un modèle computationnel du plexus brachial, implémenté dans un outil informatique et destiné au médecins neurologues pour faciliter la réalisation d'un examen clinique topographique. C'est le fruit d'une collaboration entre le Laboratoire des Systèmes Intelligents et Applications et le service de neurologie du CHU Hassan II Fès combinant à la fois une thèse médicale à la faculté de médecine et de pharmacie de Fès, et un mémoire de master systèmes intelligents et réseau à la FST.

Aujourd'hui, cette collaboration se réactive pour donner comme résultat une nouvelle version de LPNIUL combinant à la fois le modèle computationnel réalisé dans les deux premières versions et un nouvel outil intelligent d'aide à la décision médicale basé sur un système expert.

Sur la base de nos recherches de pré-études, nous avons pu définir les objectifs à atteindre, à savoir créer un système expert qui va disposer de l'essentiel des connaissances du neurologue, qui va simuler son raisonnement lors du diagnostic et qui va lui donner de l'aide pour passer à l'étape de la prise de décision. Ainsi nous visons à ajouter d'autres parties du plexus brachial et améliorer l'ergonomie.

Le reste de ce rapport est organisé comme suit, le contexte général de notre projet présentant le système nerveux, la problématique liée au diagnostic topographique d'une neuropathie et finalement l'objectif de notre travail sont présentés dans le chapitre 1. Le chapitre 2 est réservé à l'analyse des besoins et la conception dont nous allons détailler le cahier des charges. On consacre le chapitre 3 pour les systèmes d'aide à la décision médicale, leurs objectifs, leurs approches et la présentation de notre système expert LPNIUL. La mise en œuvre de l'application sera dans le dernier chapitre. Les conclusions et les futurs travaux sont résumés dans la section conclusion.

Chapitre 1 : Contexte général du projet

1. Les organismes d'accueil

Ce travail est une collaboration entre le service de neurologie de Centre Hospitalier Universitaire Hassan II et le Laboratoire des Systèmes Intelligents et Applications de la Faculté des sciences et techniques de Fès.

1.1. Le Service Neurologie du CHU II

Le CHU Hassan II est un établissement public permet la formation théorique et pratique des futurs professionnels médicaux, personnels paramédicaux et chercheurs en sciences de la santé. Le service de Neurologie en particulier a vu beaucoup de projets de thèse, le meilleur était le projet de thèse de médecine Neuromatiq ou Support audiovisuel et interactif sur la physiologie neurologique et ses troubles. C'est un projet, supervisé par Mr Belahsen Mohammed Faouzi, professeur de neurologie à la FMP de Fès et chef de service de neurologie, destiné à l'étudiant en médecine et autres et qui a comme objectif de simplifier le fonctionnement du système nerveux et de l'exposer de façon élégante et concise.

1.2. Le Laboratoire des Systèmes Intelligents et Applications, FST Fès

Le laboratoire SIA, crée en 2011, est une unité de Recherche du Centre d'Etudes Doctorales en Sciences et Techniques de l'Ingénieur domicilié à la FST de Fès.

Les thématiques de recherche se situent au cœur des Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication et s'articulent essentiellement autour des thématiques de recherche des enseignants chercheurs du laboratoire et assure une large couverture thématique présentant un atout très important pour le laboratoire.

2. Présentation du système nerveux humain

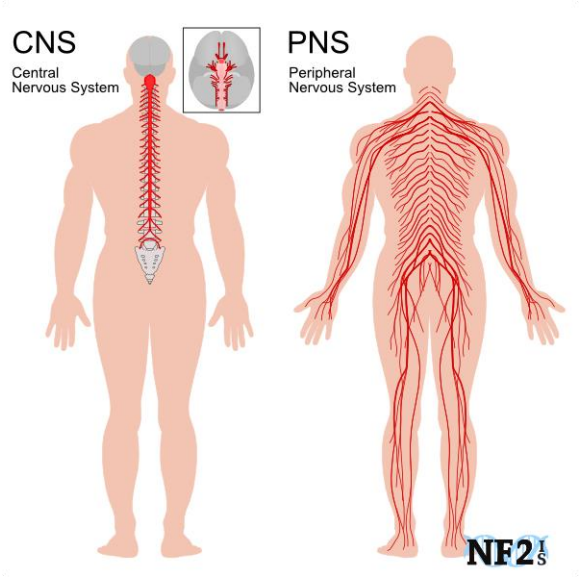


Figure. 1 : Le système nerveux

Le système nerveux est responsable de l'envoi, de la réception et du traitement des influx nerveux. Il contrôle les actions et les sensations de toutes les parties du corps, ainsi que la pensée, les émotions et la mémoire, c'est un réseau complexe des nerfs et des cellules qui diffusent des messages à et du cerveau aux parties variées du corps [1].

Le système nerveux comprend le système nerveux central et le système nerveux périphérique.

2.1. La structure d'un nerf

Un nerf est un ensemble de neurofibres qui suivent le même trajet dans le système nerveux principal. Comme les neurones, les nerfs sont classés selon la direction dans laquelle ils transmettent les influx nerveux.

- Les nerfs spinaux : Contiennent des neurofibres sensitives et des neurofibres motrices on dit que ce sont des nerfs mixtes.
- Les nerfs sensitifs ou afférents : Conduisent les influx vers le système nerveux centrale seulement.
- Les nerfs moteurs : Conduisent les influx nerveux provenant seulement du système nerveux centrale.

Les nerfs crâniens : Les nerfs qui relient la tête, le visage, les yeux, le nez, les muscles et les oreilles au cerveau.

Les nerfs rachidiens : Les nerfs qui relient la moelle épinière au reste de l'organisme. Ils émergent de la moelle épinière et ils sont au nombre de 31 paires. Chaque nerf rachidien à deux racines (Figure. 2). la racine antérieure (contient des fibres motrices) et la racine postérieure (contient des fibres sensitives) [2].

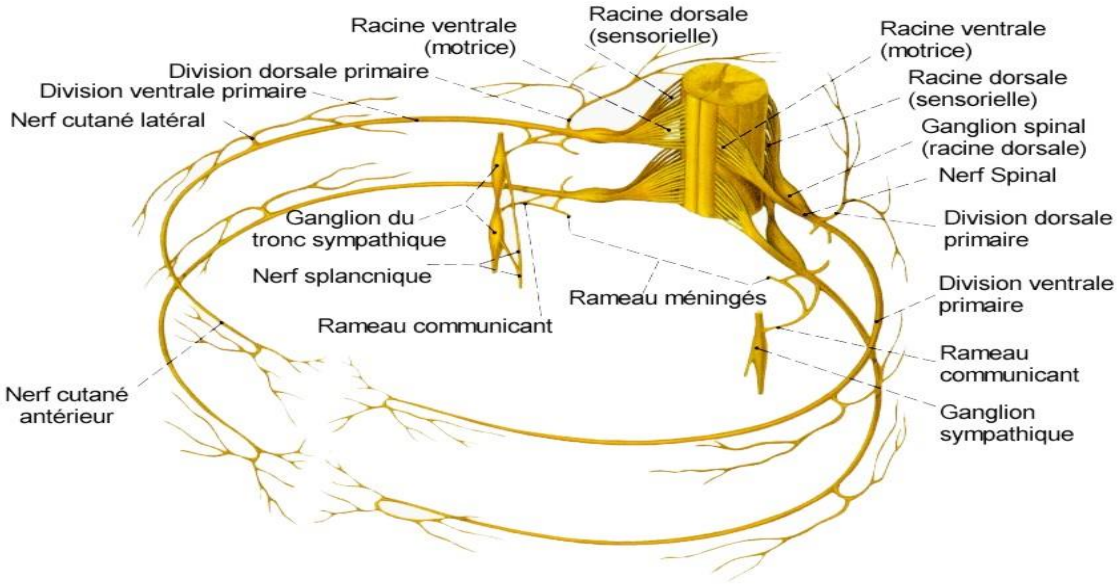


Figure. 2 : Schéma de la moelle épinière et nerfs rachidiens

2.2. Le système nerveux central

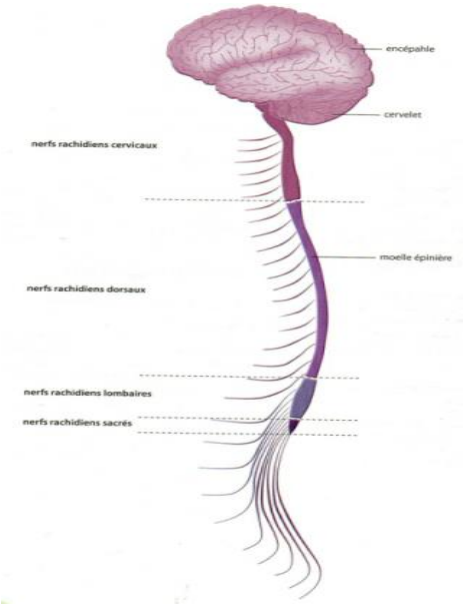


Figure. 3 : Le système nerveux central

Le SNC se compose du cerveau, cervelet et la moelle épinière. La moelle épinière se compose de suite de 31 segments. Une paire de nerfs rachidiens sort de chaque segment. La région de la moelle épinière de laquelle une paire de nerfs rachidiens commence, est appelée le segment spinal. Le moteur et les nerfs sensoriels sont placé dans la moelle épinière.

Le rôle de ce système est de recevoir, enregistrer, interpréter les signaux qui parviennent de la périphérie, et l'organiser la réponse à envoyer [1].

2.3. Le système nerveux périphérique

Le SNP désigne les parties du système nerveux qui sont à l'extérieur du système nerveux central, c'est-à-dire celles qui sont à l'extérieur du cerveau et de la moelle épinière. **C'est un vaste réseau de nerfs** qui permet de relier le système nerveux central au reste du corps et de véhiculer des informations sensitives et motrices.

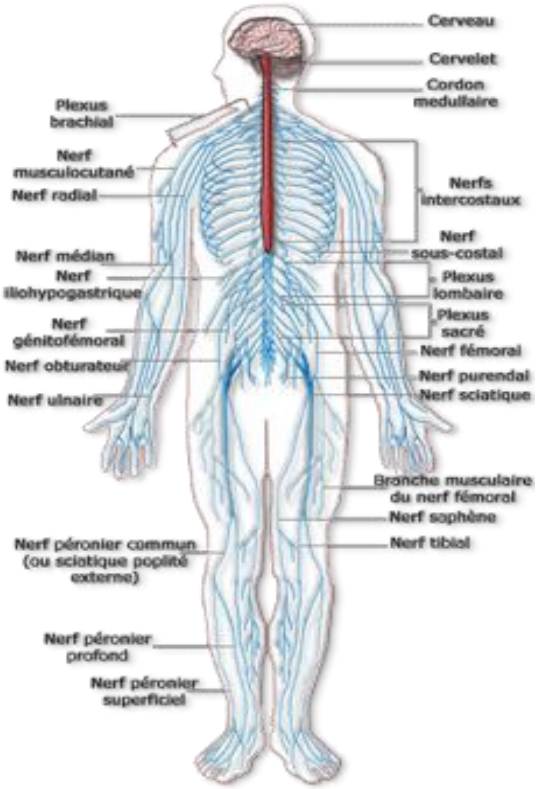


Figure. 4 : Le système nerveux périphérique

Ainsi, le SNP comprend les nerfs crâniens et rachidiens, les plexus (cervical, brachial, lombaire et sacré), les troncs nerveux (nerfs médian, radial …) et plus de 100 milliards de cellules nerveuses présentes dans le corps [3].

Le rôle de ce système est de conduire jusqu'au système nerveux central les informations issues des récepteurs périphériques de la sensibilité ou de la douleur, et de transmettre les ordres moteurs émis par les centres nerveux.

2.4. L'échange de l'information entre le système nerveux central et périphérique

Mouvoir un muscle nécessite la communication entre le muscle (SNP) et le cerveau (SNC) par l'intermédiaire de nerfs. L'influx qui fait se mouvoir un muscle peut provenir d'un stimulus sensitif. Par exemple, des terminaisons nerveuses cutanées (récepteur sensoriels) permettent de ressentir une douleur lorsque l'on marche sur des pierres pointues, ou de ressentir la température, comme lorsque l'on prend une tasse de café trop chaud, ces informations sont envoyées au cerveau, qui renvoie un message aux muscles. Ce type d'échange implique deux voies nerveuse complexes : **la voie nerveuse sensorielle vers le cerveau et la voie nerveuse motrice vers le muscle.**

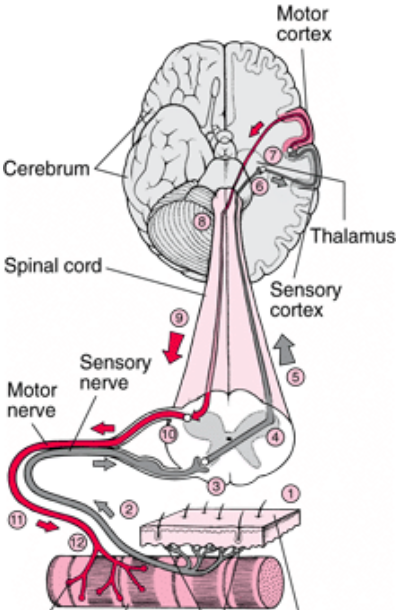


Figure. 5 : La circulation de l'information entre le SNC et le SNP

1. Lorsque les récepteurs sensoriels cutanés perçoivent une douleur ou un changement de température, ils transmettent un signal qui atteint le cerveau.

2. L'influx nerveux est transmis le long d'un nerf sensitif jusqu'à la moelle épinière.

3. Il traverse une synapse (point de jonction entre deux cellules nerveuses) entre le nerf sensitif et une cellule nerveuse dans la moelle épinière.
4. L'influx nerveux passe de la cellule nerveuse dans la moelle épinière au côté opposé de la moelle épinière.
5. L'influx nerveux est transmis le long de la moelle épinière en passant par le tronc cérébral et atteint le thalamus, qui est un centre de traitement sensoriel au cœur du cerveau.
6. L'influx nerveux traverse une synapse au niveau du thalamus d'où des fibres nerveuses transmettent le signal au cortex sensitif du cerveau (la zone qui reçoit et interprète les informations des récepteurs sensoriels).
7. Le cortex sensitif perçoit l'influx nerveux. Une personne peut ensuite décider d'amorcer un mouvement, ce qui déclenche un signal généré par le cortex moteur (la zone qui planifie, contrôle et exécute les mouvements volontaires).
8. Le nerf transmettant le signal passe du côté opposé, au niveau de la base du cerveau.
9. Le signal est transmis le long de la moelle épinière.
10. Il traverse une synapse entre les fibres nerveuses dans la moelle épinière et un nerf moteur, qui se trouve dans la moelle épinière.
11. L'influx nerveux part de la moelle épinière le long du nerf moteur.
12. Au niveau de la jonction neuromusculaire, le signal est transmis du nerf moteur à la plaque musculaire, qui provoque le mouvement musculaire [3].

3. Le plexus brachial

De façon très similaire au tableau électrique d'une maison, un plexus nerveux ressemble à un réseau de nerfs reliés entre eux. Les fibres nerveuses issues des différents nerfs spinaux se séparent et se réassocient dans les plexus, et donc toutes les fibres provenant d'une région spécifique de l'organisme se réunissent pour former un seul nerf [4].

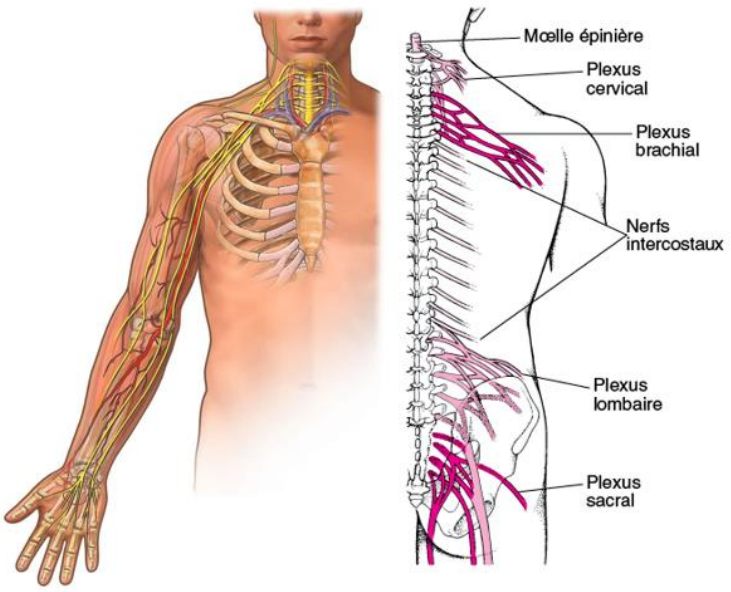


Figure. 6 : Le plexus brachial

Le plexus brachial est l'ensemble des nerfs qui proviennent de la moelle épinière et commandent l'ensemble des muscles du membre supérieur de l'épaule jusqu'à la main. Dans un nerf, il y a plusieurs fibres qui contiennent des informations motrices ou sensitives : les axones (fils électriques). Ces axones sont regroupés en fascicules correspondant à une fonction précise.

3.1. Définition anatomique descriptive

Le plexus brachial correspond à la réunion des branches ventrales des quatre derniers nerfs cervicaux (C5, C6, C7, C8) et du premier nerf thoracique (T1). Il s'étend de C5 à T1 [5]. Ces racines nerveuses naissent de l'union des racines antérieures (motrices) et postérieures (sensitives) qui émergent de la moelle épinière.

La moelle épinière (transformateur) est le prolongement du cerveau (centrale électrique) permettant de distribuer tous les nerfs moteurs et sensitifs à l'organisme.

Dans un nerf (petit câble électrique) il y a plusieurs fibres qui contiennent des informations motrices ou sensitives : les axones (fils électriques). Ces axones sont regroupés en fascicules correspondant à une fonction précise (plier le coude, plier les doigts…).

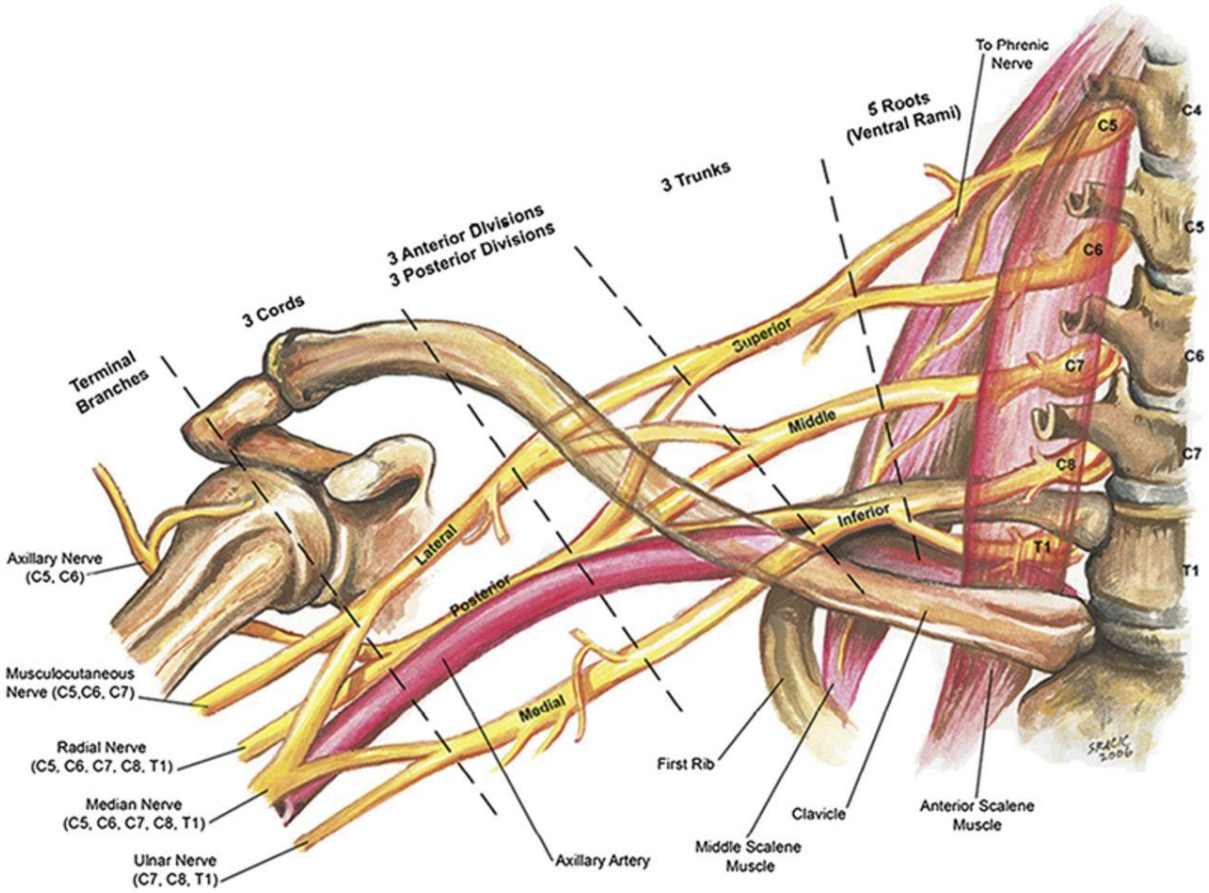


Figure. 7 : L'anatomie du plexus brachial

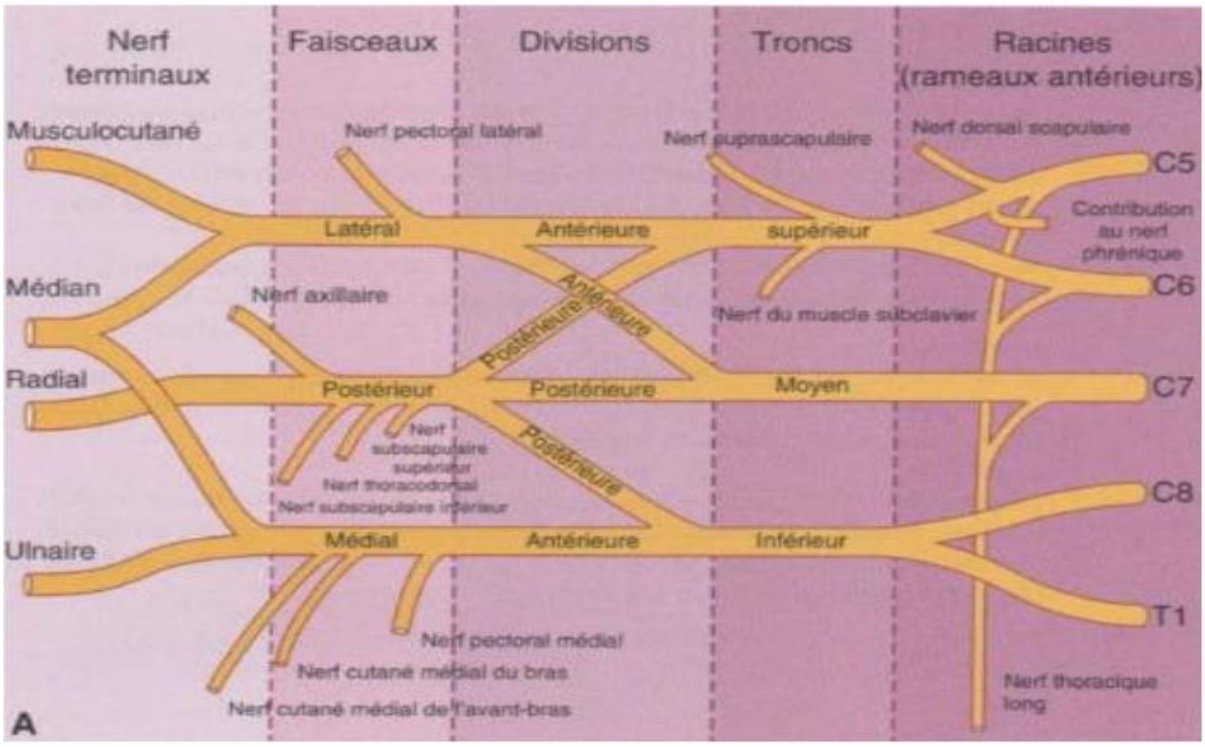


Figure. 8 : Le schéma du plexus brachial

Le plexus brachial se compose de plusieurs sections :

- **Les racines**

Une racine (gros câble électrique) est la partie du nerf sortant de la moelle épinière. Le plexus brachial est constitué de 5 racines (C5, C6 C7, C8, T1). Celles-ci sont nommées en fonction du nombre de racine (C5 est la 5ème racine cervicale, T1 est la première racine thoracique).

- **Les troncs primaires et les divisions**

Les racines s'unissent pour former trois troncs primaires et chacun de ces troncs se divise en deux branches dorsale et ventrale (Divisions).

- Tronc primaire Supérieur ou 1er tronc primaire formé par C5 et C6 se divise en :
    - Le tronc primaire supérieur antérieur (branche ventrale).
    - Le tronc primaire supérieur postérieur (branche dorsale).
- Tronc primaire Moyen ou 2ème tronc primaire (C7) :
    - Le tronc primaire moyen antérieur (branche ventrale).
    - Le tronc primaire moyen postérieur (branche dorsale).
- Tronc primaire Inférieur ou 3ème tronc primaire formé par C8 et T1 :
    - Le tronc primaire inférieur antérieur (branche ventrale).
    - Le tronc primaire inférieur postérieur (branche dorsale).
- **Les troncs secondaires ou faisceaux**
    - Le faisceau postérieur : Le tronc primaire inférieur postérieur, le tronc primaire moyen postérieur et le tronc primaire supérieur postérieur s'unissent pour former le faisceau postérieur.
    - Le faisceau latéral : Le tronc primaire moyen antérieur et le tronc primaire supérieur antérieur s'unissent pour former le faisceau latéral.
    - Le faisceau médial : Le tronc primaire inférieur antérieur se prolonge pour former le faisceau médial.
- **Les nerfs terminaux**

Les nerfs principaux du membre supérieur sont appelés des nerfs terminaux. Ils sont formés par les branches terminales des faisceaux.

Le faisceau postérieur se divise en deux branches :

- Le nerf axillaire

- Le nerf radial

Le faisceau latéral se divise en deux branches :

- Le nerf musculo-cutané.
- Nerf médian (formé par l'union de la branche issue du faisceau latéral et la branche issue du faisceau Médial).

Le faisceau médial se divise en deux branches :

- Le nerf ulnaire
- Nerf médian

- **Branches collatéraux**

Le plexus brachial ne s'arrête plus à ce niveau. Plusieurs nerfs appelés les nerfs ou les branches collatéraux sont issus du territoire radiculaire ou plexique du plexus brachial avec un faible rassemblement d'axones (fibres électriques). Il s'agit :

Au niveau des racines :

- Nerf thoracique long (ou de Charles Bell) issu de C5, C6 et C7.
- Contribution au nerf phrénique issue de C5.
- Nerf dorsal scapulaire issu de C5

Au niveau des troncs primaires :

- Nerf supra-scapulaire issu du tronc primaire supérieur
- Nerf du muscle subclavier issu du tronc primaire supérieur.

Au niveau des faisceaux :

- Nerf pectoral médial issu du faisceau médial.
- Nerf cutané médial du bras issu du faisceau médial.
- Nerf pectoral médial de l'avant-bras issu du faisceau médial.
- Nerf subscapulaire supérieur issu du faisceau postérieur.
- Nerf thoracodorsal issu du faisceau postérieur.
- Nerf subscapulaire inférieur issu du faisceau postérieur.
- Nerf pectoral latéral issu du faisceau latéral.

Au niveau des nerfs terminaux :

- Nerf rond pronateur, nerf fléchisseur radial du carpe, nerf long palmaire, nerf fléchisseur superficiel des doigts, nerf long fléchisseur du pouce, nerf fléchisseur profond du II et III, nerf carre pronateur, nerf court fléchisseur du pouce, nerf opposant du pouce, nerf court abducteur du pouce et nerfs lombricaux issues du nerf terminal médian.
- Nerf cutané postérieur du bras, nerf triceps, nerf anconé, nerf brachioradial, nerf supinateur, nerf extenseur des doigts, nerf extenseur du V, nerf extenseur cubital du carpe, nerf long abducteur du pouce, nerf long extenseur du pouce, nerf court extérieur du pouce et nerf extenseur propre de l'index issues du nerf terminal radial.
- Nerf fléchisseur cubital du carpe, nerf du fléchisseur commun profond médial, nerf court fléchisseur du pouce, nerf adducteur du pouce, nerf interosseux dorsaux et palmaire, nerf du 3eme et 4eme lombricaux, nerf opposant du V, nerf court fléchisseur du V, nerf abducteur du V et nerf court palmaire issues du nerf terminal ulnaire [6].

La figure (Figure. 8) présente le schéma que nous allons appliquer lors de la création de notre system intelligent pour la détection des lésions. Mais avant, il faut avoir une idée concernant les maladies des nerfs périphériques ou, en d'autre terme « la neuropathie ».

4. La neuropathie

La neuropathie est une maladie du système nerveux. L'atteinte est le plus souvent sensitive, existe des différents types de neuropathies, et selon leurs caractéristiques, le diagnostic et le traitement proposé. C'est une maladie des nerfs périphériques, Celui-ci est constitué en réalité d'une racine nerveuse qui est issue de la moelle et d'un ou plusieurs troncs nerveux ou nerfs proprement dits [7].

Un nerf comprend schématiquement plusieurs fibres nerveuses :

- Des fibres motrices qui vont aux muscles.
- Des fibres sensitives qui remontent les informations sensitives vers les centres nerveux.
- Des fibres sensitives qui forment un arc réflexe avec des fibres motrices.

L'atteinte d'un nerf aura donc pour conséquence :

- Des troubles moteurs : Lorsque les nerfs moteurs (nerfs qui contrôlent les mouvements musculaires) sont lésés, les muscles peuvent être affaiblis ou paralysés.

- Des troubles sensitifs : Lorsque les nerfs sensitifs (nerfs qui transportent les informations sensitives, comme la douleur, la température et les vibrations) sont lésés, il en résulte une sensibilité altérée, voire une perte totale de la sensibilité.
- Une abolition des réflexes.

Les maladies des nerfs périphériques peuvent toucher un nerf (Mononeuropathie), deux nerfs périphériques ou plus dans des zones distinctes du corps (Mononeuropathie multiple), ou de nombreux nerfs partout dans le corps, mais généralement dans les mêmes zones des deux côtés du corps (Polyneuropathie). Lorsqu'un nerf est touché, il s'agit d'une atteinte tronculaire, et lorsqu'une racine est touchée, il s'agit d'une atteinte radiculaire.

5. Le diagnostic topographique

Comme nous avons mentionné, un plexus est comme une sorte de centrale électrique qui distribue les fils à différents endroits de la maison. Dans un plexus, les fibres nerveuses de différents nerfs spinaux (qui relient la moelle épinière au reste de l'organisme) sont triées. Les fibres sont réassociées de façon à ce que toutes les fibres allant à une région spécifique de l'organisme se réunissent pour former un seul nerf alors, une lésion au niveau des plexus principaux provoque des troubles au niveau des membres qui sont innervés par les fibres nerveuses de ces plexus. Les médecins soupçonnent qu'un plexus est touché quand les symptômes se présentent dans une partie du corps innervée par un plexus particulier. La localisation des symptômes permet d'identifier le plexus concerné.

Pour diagnostiquer une maladie des nerfs périphériques, les médecins demandent aux patients de décrire leurs symptômes, notamment :

-À quel moment les symptômes ont débuté.

-Quels symptômes sont apparus en premier.

-Comment les symptômes ont évolué au fil du temps.

-Quelles parties du corps sont affectées.

-Ce qui soulage et empire les symptômes.

Les médecins interrogent également les patients sur les causes possibles, en leur demandant par exemple s'ils ont développé des infections ou d'autres maladies, et si des membres de leur famille présentent des symptômes similaires. Ces informations leur donnent des indices sur la cause des symptômes [7].

Ensuite, ils passent à l'étape de diagnostic topographique, c'est un examen clinique et neurologique complet qui permet de localiser exactement le siège de la lésion. Afin de réaliser cette étape, il faut combiner entre 4 examens :

- Déficit moteur : Les médecins évaluent la force musculaire.
- Déficit sensitif : Les médecins évaluent également les sensations, si les personnes peuvent normalement ressentir les stimuli ou s'ils ont des sensations anormales comme des picotements.
- ROT ou les réflexes ostéo-tendineux : Est la contraction réflexe d'un muscle, c'est un examen diagnostique simple, rapide à effectuer.
- Les données EMG ou L'électromyographie : C'est l'enregistrement des courants électriques qui permet d'étudier le système nerveux périphérique, les muscles et la jonction neuromusculaire (le contact entre le neurone et le muscle). Il s'agit d'un enregistrement des courants électriques qui accompagnent l'activité musculaire. L'EMG permet également d'affirmer si une lésion est de nature organique (« réelle ») et non de nature psychologique.

Une fois les résultats de ces différents examens sont rassemblés, les médecines peuvent détecter le siège de la lésion périphérique. En effet, cette richesse des symptômes, causses et des tests motrices, sensitifs, ROT et EMG, présente un défi pour le neurologue durant le diagnostic, et cette difficulté qui représente la problématique de notre projet.

6. Problématique

6.1. Introduction

La démarche diagnostique des lésions des nerfs du membre supérieur passe par différentes étapes, la première étape est l'affirmation de la lésion du nerf (diagnostic positif), la deuxième est la localisation exacte de cette lésion (diagnostic topographique), la troisième est la détermination de son étiologie causale pour éventuellement proposer une thérapeutique. Ces différentes étapes sont étroitement liées ; la précision de la localisation et de la distribution des lésions (mono neuropathie unique ou multiple, ou polyneuropathie) sera d'un intérêt crucial pour déterminer l'étiologie puis indiquer une thérapeutique [6].

La deuxième étape (Le diagnostic topographique) de cette démarche est l'une des étapes diagnostiques les plus difficiles, cette difficulté peut être expliquée par la richesse et la complexité de l'innervation périphérique dans le plexus brachial, ceci d'un point de vue anatomique, aussi d'un point de vue clinique, le praticien doit rassembler les différents éléments du déficit neurologique qui dérivent des trois fonctions : **motrice** (dont les réflexes), **sensitive** et **neurovégétative**, qu'assure un nerf périphérique. Ce processus mental de rassembler ces différents éléments s'avère parfois difficile, le praticien se retrouve incapable de se prononcer précisément, rapidement et facilement sur la topographie lésionnelle.

La nature des problèmes nécessite un **outil portable**, **simple**, **pratique** et **efficace**, pour aider le praticien et le guider dans son interrogatoire et son examen clinique ainsi de lui **proposer** des éléments complémentaires à rechercher pour **affiner** son diagnostic topographique.

Avant de présenter notre solution nous allons découvrir d'abord les applications connues dans ce domaine en discutant leurs caractéristiques et leurs limites.

6.2. Exemples des applications dans la neurologie

- **Nerve Whiz :** Conçu par un neurologue neuromusculaire à l'Université du Michigan, en 2011, c'est est une application pour les professionnels de la santé intéressés **à apprendre** l'anatomie complexe des racines nerveuses, des plexus et des nerfs périphériques. Sélectionnez les muscles qui sont faibles, ou pointez vers des zones de perte sensorielle, et l'application peut vous fournir des caractéristiques distinctives et des informations détaillées, complètes avec des images et des diagrammes pertinents, Nerve Whiz est destiné à être un outil éducatif seulement.

Figure. 9 : Capture d'écran de l'application Nerve Whiz

- **Neuro Localizer :** Conçu par une équipe de neurologues à l'Université du Michigan, Neuro Localizer est une application gratuite pour les professionnels de la santé ou pour quiconque veut en savoir plus sur le fonctionnement du système nerveux intéressé à explorer les bases de la localisation neurologique.

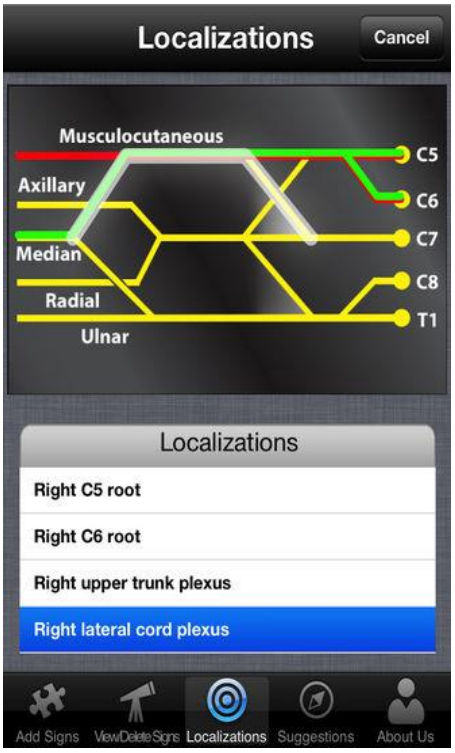


Figure. 10 : Capture d'écran de l'application Neuro Localizer

La conception de cette application a été réalisée par les trois professeurs et neurologues spécialistes Za-chary Nathaniel London, Douglas J. Gelb MD et James Francis Burke MD. Alors que le coté développement a été réalisé par la société américaine multinationale SoftCenter, une société de développement des logiciels à forte valeur. Dans cette application, Le diagnostic topographique est représenté sous forme d'une Schématisation bidimensionnelle sur laquelle sont tracés en couleurs les trajets nerveux de chaque atteinte (Donnée entrée). La superposition de tous les trajets c'est là où siège l'anomalie (ou Lésion). Cependant, cette application n'est disponible que sur le système d'exploitation iOS, elle n'est donc pas accessible à tous les étudiants et les praticiens vu qu'ils utilisent généralement des smartphones ou des tablettes disposant d'une plateforme android, ou bien même des ordinateurs personnels.

Aussi, Neuro Localizer manque certaines fonctionnalités indispensables pour qu'elle soit sérieusement utilisable dans la pratique et dédiée au neurologue spécialiste. On cite principalement :

– Un manque de plusieurs fonctions motrices pour le membre supérieur tant que pour les autres.

– Un manque de la précision puisqu'elle ne permet plus de distinguer entre les trajets nerveux principaux et les trajets nerveux accessoires.

– Fausse représentation anatomique du plexus nerveux (Un manque de représentation schématique des nerfs collatéraux).

– Une Absence de données sur l'électromyographie.

– le système ne peut détecter qu'une seule lésion à la fois.

– la conception utilisée pour détecter le siège de la lésion n'est plus opérationnelle. Elle est plutôt destinée aux étudiants en médecine pour leur donner une idée générale sur "comment se fait le diagnostic topographique".

Ces applications et autres applications réalisées jusqu'aujourd'hui dans ce domaine, manquent encore de la précision concernant la schématisation des plexus nerveux, ainsi l'exhaustivité (manque de correspondance entre les nerfs et les muscles, les fonctions, la présentation des

territoires radiculaire et tronculaire etc.) ce qui ne permet pas finalement d'utiliser ces applications sérieusement dans la pratique.

6.3. LPNIUL dans sa première version, caractéristiques et limites

En 2015, une collaboration entre le service de neurologie du CHU Hassan II de Fès et le laboratoire SIA de la FST de Fès a donné comme fruit le premier prototype de l'outil LPNIUM : un outil multiplateforme d'aide à la décision médicale dont le but principal est de répondre aux problèmes liés au diagnostic topographique. C'est un outil dédié au neurologue, et qui permet de résumer tout le savoir médical associé à la prise en charge d'un examen clinique neurologique du système nerveux périphérique [8].

Figure. 11 : Interfaces Accueil et Atteinte motrice - LPNIUL v1

Ci-après quelques statistiques sur l'outil :

- Modélisation du plexus brachial
- Nombre de Segments : 29
- Nombre de portions : 46
- Innervation musculaire
- Nombre de muscles : 51

Atteinte motrice : Dans cette première rubrique, l'application propose au neurologue durant le diagnostic topographique, de choisir, selon le test clinique, entre deux sortes d'atteinte : par muscle ou bien par fonction.

A propos : C'est la rubrique des auteurs de l'application, l'équipe de travail se divise en :

Equipe médicale : Mr Younes EL HASSANI, réalisateur de la thèse [6] et médecine interne au CHU Hassane II de Fès, supervisé par Mr Mohammed Faouzi BELAHSEN, Professeur de neurologie à la FMP de Fès et chef de service de neurologie au CHU Hassan II de Fès, et par Mme Nazha BIROUK, Professeur de neurologie à la FMP de Rabat & chef de service de la neurophysiologie clinique au CHU Ibn Sina de Rabat.

Equipe informatique : Mr Abdelhamid EL HASSANI, développeur de LPNIUL v1 et Etudiant en Master à la FST de Fès, supervisé par Mme Aicha MAJDA, Professeur au laboratoire Systèmes intelligents et Applications de la FST de Fès.

Anatomie : Contient tous les rappels cliniques et électro-physiologiques sous forme des animations 3D.

Initialiser le plexus brachial : Permet au neurologue d'abonder l'examen clinique en cours et d'en commencer un nouveau.

Visualiser le plexus brachial : Permet au neurologue de visualiser l'état du plexus brachial. Prenons l'exemple de trajet d'innervation de muscle GRAND DORSAL.

Résultats : Donne une précision de(s) siège(s) probable(s) de la lésion périphérique.

L'algorithme produit les résultats suivants comme sortie :

La lésion qui a causé l'atteinte musculaire est de 16,67% au niveau de la racine C7 et faisceau postérieur, et 8,33% au niveau du tronc supérieur etc.

Figure. 12 : Interface Visualiser et Résultats -LPNIUL v1

Les limites de la première version

- Dans cette version, ils ont donné la priorité à l'atteinte motrice par muscle. Par conséquent, les autres examens (l'atteinte sensitive, les ROT et les données ENMG) ne sont pas fonctionnels.
- Les résultats de la détection des lésions ne sont pas exacts, à cause de la liste non exhaustive des informations utilisées.
- Plusieurs problèmes concernant le côté ergonomique.

6.4. LPNIUL dans sa deuxième version, caractéristiques et limites

Dans cette version, pleins de modifications et améliorations ont été effectué, au niveau ergonomique et aussi au niveau du contenu :

- Modification de l'interface de la rubrique « atteinte motrice »

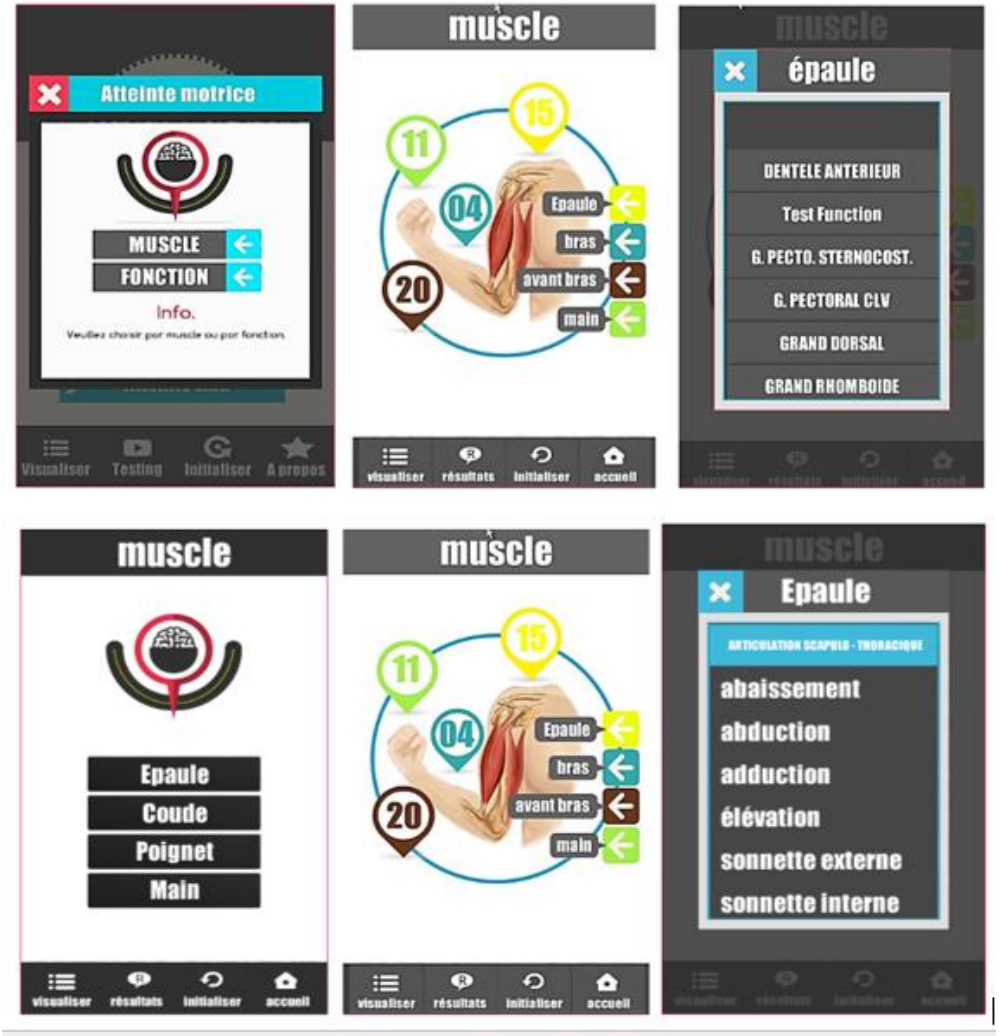


Figure. 13 : Interface Atteinte motrice - LPNIUL v2

- L'ajout de l'atteinte sensitive
    - Pour les douleurs radiculaires : correspond principalement à la douleur qui peut être radiculaire ou tronculaire.
    - Pour les douleurs tronculaires au déficit sensitif : On présente le membre supérieur en deux faces antérieure et postérieure, chacune est subdivisée en plusieurs petits territoires correspondant à un seul nerf et à une ou deux racines spinales. L'atteinte de chacun des territoires peut être donc d'origine tronculaire ou radiculaire.

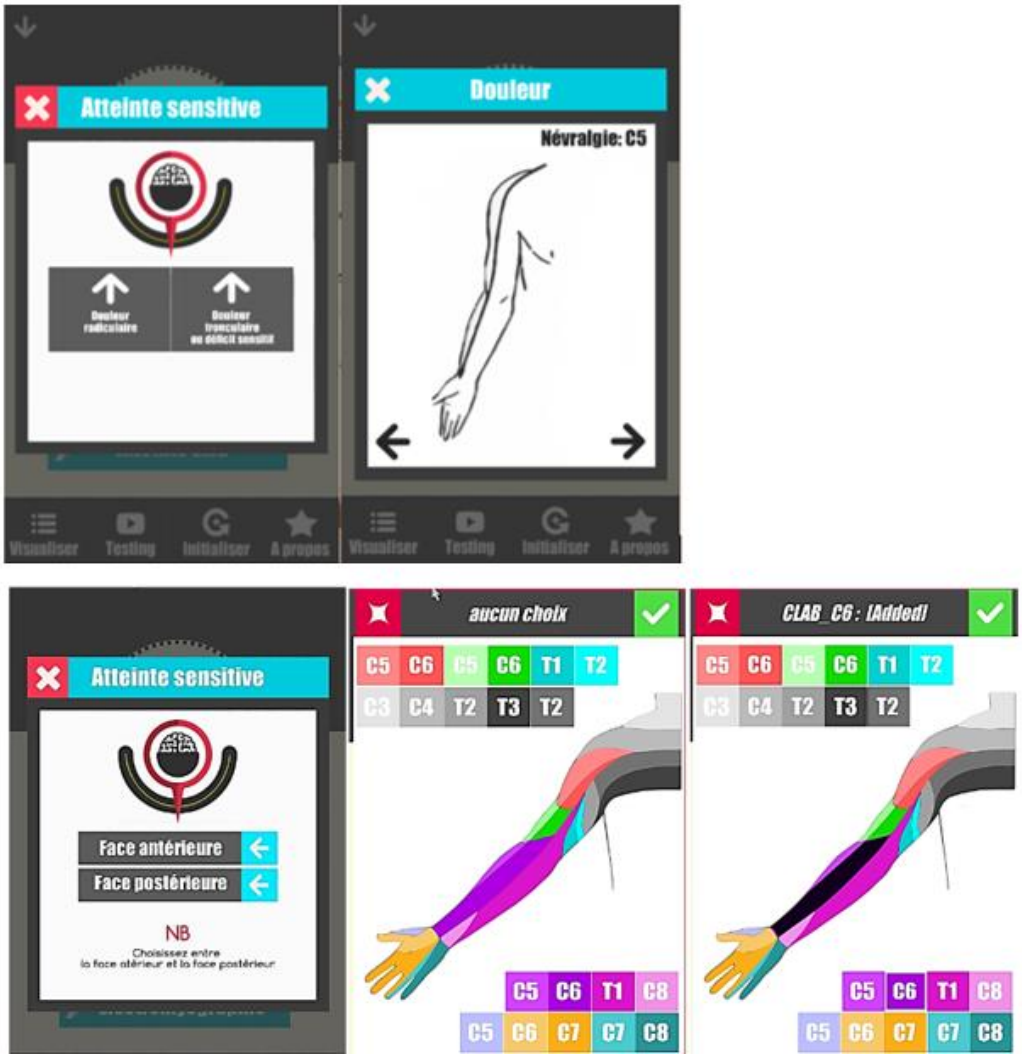


Figure. 14 : Interface Atteinte sensitive - LPNIUL v2

- Rubrique atteinte des ROT et EMG.
- Modification de la rubrique résultats.

Figure. 15 : Interface Résultats, Atteinte ROT et EMG

Les limites de la deuxième version

- Côté ergonomique :
    - L'ongle VISUALISER montre tous les trajets visité, Absence de la possibilité de visualiser le dernier trajet seulement.
    - Absence d'un guide d'utilisation de l'application, l'historique des sélections.
    - Le Zoom in et out de la face antérieure et la face postérieure pour l'atteinte Sensitive.
    - La difficulté de naviguer à cause de l'absence des possibilités « PRECEDENT » et « SUIVANT ».
    - Le schéma du plexus se termine au niveau de la première portion des nerfs terminaux.
- Coté contenu :
    - Absence des examens ENMG de type conduction motrice, sensitive et réflexe.
    - Ne prendre pas en considération l'absence d'un signe (lorsque le muscle est conservé).
    - Erreur de calcul de probabilité lésionnelle : l'application ne prend pas en considération les signes liés au syndrome du nerf atteint.
    - La précision de lésion se termine au niveau de la première portion des nerfs terminaux.

7. Notre solution : LPNIUL, la 3ème version

Pour LPNIUL v3, nous gardons comme objectif principal celui des anciennes versions : la conception d'un système capable de prendre des décisions cliniques liées au diagnostic topographique d'une atteinte neurologique d'origine périphérique. Nous visons à priori le côté professionnel dont on cible principalement les praticiens et les neurologues spécialistes, Sans oublier le côté éducatif destinée aux étudiants en médecine.

Nous devons améliorer l'application en répondant aux remarques citées par les neurologues qui ont testés les anciennes versions. D'un point de vue ergonomique, il faut faciliter l'utilisation de l'application et d'un point de vue fonctionnel, nous allons construire un système expert, qui va simuler le raisonnement du neurologue lors du diagnostic. D'autres parties du plexus brachial seront ajoutées, en particulier les nerfs secondaires omis dans la version précédente. Ceci nécessite la maintenance du code, en migrant alors vers l'orienté objet pour le développement.

Chapitre 2 : Analyse et conception

1. Gestion du projet

L'objectif de cette partie est de présenter la démarche d'organisation de notre projet, et comment le projet a été découpé en plusieurs tâches afin d'assurer un bon déroulement.

Vu la richesse du contexte du projet, et la quantité des informations médicales à comprendre avant tout, nous avons décidé de commencer le travail depuis juillet 2017, où nous avons essayé de se familiariser avec l'environnement du développement UNITY 3D, utilisé dans les deux premières versions de LPNIUL. Mais, la grande partie du travail a démarré le février 2018.

Pour déterminer les tâches à accomplir, nous avons utilisé le logiciel de gestion de projet Gantt Project. Gantt Project permet de planifier et suivre les projets et les ressources durant la réalisation. Cet outil permet ainsi d'assurer une gestion de projet professionnelle, et de garantir le respect des délais.

1.1. Diagramme de Gantt

Le diagramme de Gantt permet de visualiser dans le temps les diverses tâches composant un projet. Il s'agit d'une représentation d'un graphe connexe, value et orienté, qui permet de représenter graphiquement l'avancement du projet.

Ce diagramme permet donc de visualiser d'un seul coup d'œil :

- Les différentes tâches à envisager.
- La date de début et la date de fin de chaque tâche.
- La durée escomptée de chaque tâche.
- Le chevauchement éventuel des tâches, et la durée de ce chevauchement.
- La date de début et la date de fin du projet dans son ensemble.

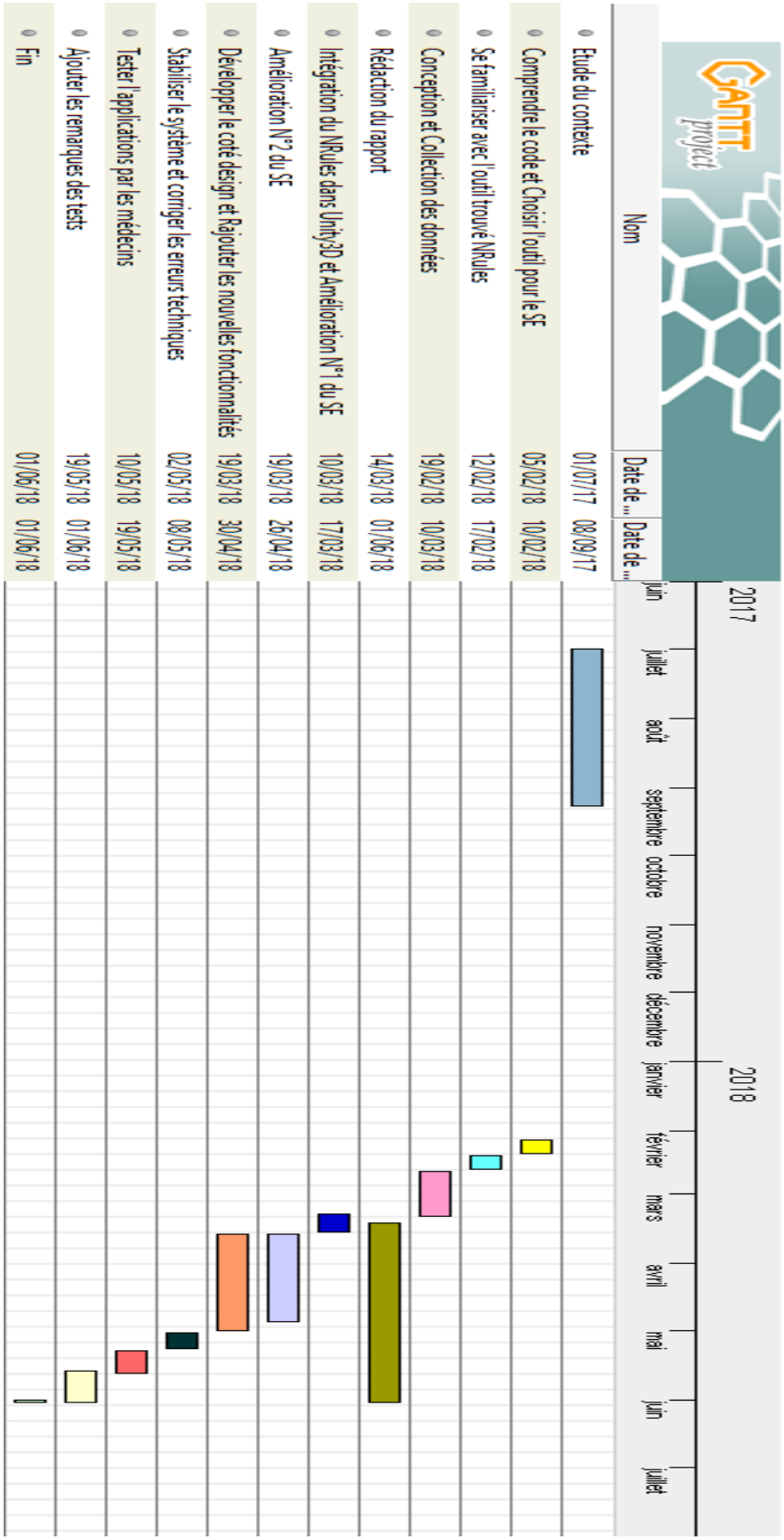


Figure. 16 : Diagramme de Gantt LPNIUL v3

1.2. Planification

- **Etude du contexte :** Comprendre l'anatomie du plexus brachial et se familiariser avec l'outil Unity3D.
- **Comprendre le code et Choisir l'outil pour le SE :** Comprendre ce qui a été réalisé dans les versions précédentes est très important, il nous a permet de bien identifier les problèmes. Puis nous avons cherché le moteur d'inférence pour notre SE.
- **Se familiariser avec l'outil trouvé NRules :** Etudier cet outil, le tester et le valider en justifiant notre choix.
- **Conception et Collection des données.**
- **Intégration du NRules dans Unity3D et Amélioration N°1 du SE :** Intégrer NRules dans l'environnement Unity3d et proposer la première version de notre SE.
- **Amélioration N°2 du SE :** Après des réunions avec nos encadrants, nous avons mis à jour le SE en rajoutant des nouveaux faits et nouvelles règles.
- **Développer le côté design et Rajouter les nouvelles fonctionnalités.**
- **Stabiliser le système et corriger les erreurs techniques.**
- **Tester l'application par les médecins.**
- **Ajouter les remarques des tests.**

2. Analyse des besoins fonctionnels

L'identification des besoins consiste à traduire les solutions proposées dans le premier chapitre en un ensemble de fonctionnalités. Ceci demande une compréhension plus approfondie des tâches à mettre en œuvre.

2.1. Identification des acteurs

Les acteurs représentent des rôles joués par des utilisateurs qui communiquent directement avec l'application.

Pour notre système, nous avons un seul acteur qui est le Neurologue ou son étudiant. Cet acteur peut consulter toutes les fonctionnalités de l'application.

2.2. Fonctionnalités principales

Améliorer l'ergonomie, corriger les failles de l'ancien système de détection des lésions, et développer un système de suggestions sont nos principaux objectifs, pour créer à la fin un outil convivial, puissant et efficace. Cette solution devra entre autres assurer un support

éducatif, un système de détection des lésions et un système de propositions pour offrir au neurologue un guide pendant le diagnostic.

2.2.1. Système de détection des lésions

L'objectif principal de l'application est la détection avec une haute précision des lésions au niveau du système nerveux périphérique, précisément le membre supérieur présenté par le plexus brachial. Les versions précédentes, comme nous avons mentionné dans le premier chapitre, présentent un ensemble de problèmes. Ce qui influence sur les résultats et donc s'éloigner de notre objectif.

Pour remédier à cette problématique nous fixons les tâches suivantes :

- **Etendre le plexus brachial en trois nerfs principaux :** Couvrir tout le plexus brachial à partir des racines jusqu'à les doigts de la main, ceci dans la maquette de visualisation du plexus et dans les calculs, en ajoutant l'atteinte du nerf Radial, Ulnaire et Médian, aux sites conflictuels du membre supérieur.
- **Introduction d'une nouvelle approche pour le diagnostic, les signes négatifs et positif :** L'application doit prendre en considération **la présence et l'absence** d'un syndrome lésionnel en même temps ceci va permettre d'améliorer le diagnostic en donnant une grande précision du siège de la lésion.
    - Quand un signe **négatif** est sélectionné, le syndrome auquel est associé est **éliminé**, en d'autre terme, on confirme que ce syndrome est **conservé.**
    - Quand un signe **Positif** est sélectionné, le syndrome auquel est associé est renforcé, en d'autre terme, ce syndrome peut être atteint et automatiquement la probabilité que ce syndrome soit le siège de lésion augmente.
- **Recalcule de la probabilité lésionnelle :** En modélisant un system expert et en rajoutant d'autres contraintes pour raffiner le calcul, Nous allons détailler le calcul de la probabilité lésionnelle dans le chapitre suivant.
- **Ajout de l'examen ENMG :** Cet examen vient appuyer l'atteinte clinique, elle confirme (ou infirme) l'atteinte clinique, cet examen va être classer en 3 catégories
    - ENMG Moteur (contient les muscles testables par la technique EMG et une liste des différents sites de mesure de la conduction motrice).
    - Conduction sensitive.
    - Reflexe.

- **Amélioration de l'examen sensitif :** Corriger quelques trais d'artéfact sur la face antérieure et postérieure (Figure. 14) et faciliter la sélection des territoires sensitifs ceci par l'ajout du zoom in et zoom out sur les deux faces.
- **Suppression d'un examen :** Annuler l'insertion d'un examen.

2.2.2. Système de propositions

Notre objectif n'est pas de donner au neurologue le siège de la lésion seulement mais encore plus, nous souhaitons le guider dans sa démarche de la prise de décision, Pour cela, nous pensons, pour chaque résultat donné par le système de détection des lésions, de proposer des examens positifs, qui peuvent augmenter la probabilité de ce résultat, et au contraire des examens négatifs. Ce qui permet au neurologue de valider ce résultat en vérifiant ces signes, donc nous allons proposer un système expert de proposition des signes (muscles, fonction, ROT et ENMG) positifs et négatifs. On trouve plus de détails dans le chapitre suivant.

2.2.3. Support éducatif

L'application contient déjà une partie dédiée aux jeunes neurologues, la fonctionnalité « **Testing EMG et Clinique** ».

La fonctionnalité Testing contient des images avec une description de l'examen clinique et électromyographique de certains muscles du membre supérieur. Elle contient deux sous rubriques : Testing clinique : qui contient une liste des 38 muscles du membre supérieur qui sont fréquemment testés cliniquement, pour chaque muscle, on cite son trajet nerveux, sa fonction et la méthode de l'examiner.

Testing EMG : Contient une liste des 21 muscles du membre supérieur qui sont marqueurs des syndromes lésionnels des nerfs du membre supérieur à l'EMG. Pour chaque muscle dans cette rubrique, on cite son trajet nerveux, l'action à faire pour le localiser et le solliciter, et la méthode de sa détection.

Comme nous avons constaté, Les jeunes neurologues souffrent de la richesse des données à mémoriser, le problème se trouve le moment où ils veulent se rappeler des trajets nerveux des muscles énervés par les différents nerfs du plexus brachial, l'application propose pour ces étudiants, la fonctionnalité « Visualiser » qui trace le trajet nerveux de chaque muscle. Comme ça, l'étudiant peut utiliser notre application comme une référence. Mais, lorsqu'il n'a aucune idée sur le muscle suivant à vérifier. Notre solution consiste à regrouper, pour chaque résultat, tous les signes positifs et négatifs à examiner, l'étudiant peut consulter cette liste pour trouver le nerf le plus probablement infecté, en examinant les muscles énervés par ce nerf, ou bien exclure des nerfs le moment où un signe négatif existe.

3. Analyse des besoins non fonctionnels

Les besoins non fonctionnels décrivent les propriétés que le système doit avoir. Voici la description des besoins non fonctionnels que doit satisfaire ce système :

3.1. Maintenabilité

- **Lisibilité :** Le code et la documentation doivent être compréhensibles par simple lecture, en respectant les normes de développement et les règles de gestion documentaire.
- **Modularité :** L'application doit être découpée fonctionnellement.
- **Traçabilité** : Toute modification apportée au code ou à la documentation doit être tracée et expliquée.
- **Adaptabilité :** L'ajout, la modification, la correction ou la suppression des fonctionnalités doivent être facilement réalisables.

3.2. Convivialité

- **Offrir plusieurs rubriques informatives sur le fonctionnement de l'application** : Une vidéo démo, une image qui montre l'anatomie du plexus brachial, une liste des abréviations utilisées dans l'application.
- **Ajouter l'historique des sélections :** Lister tous les examens faits, en les regroupant selon le type de l'atteinte (motrice, sensitive, ROT ou ENMG) et le type de signe (positif ou négatif).
- **Visualiser des trajets d'un examen spécifique.**
- **Ajouter les maquettes des nerfs terminaux** Radial, Ulnaire et Médian dans la rubrique visualiser.
- **Modifier le listage des résultats** : Lister les sections atteintes, pour chaque section on liste tous les portions atteintes (retournées par le système de détection des lésions), pour chaque portion on trouve les signes positifs et négatifs (proposés par le système de suggestion) regroupé selon le type de l'atteinte.
- **Faciliter le passage d'un type d'examen a un autre** : Ajout des buttons « PRECEDENT » et « SUIVANT ».
- **Rendre les deux faces sensitives cliquable**, et supprimer les carrés en couleur.

3.3. Exploitabilité

- **Efficacité :** Les impacts en termes de performance doivent être prises-en compte lors des développements. La consommation des ressources (CPU, mémoire, etc.) doit être minimisée.

4. Conception

La conception est une phase importante avant la réalisation de tout projet, Cette phase nécessite des méthodes permettant de mettre en place un modèle sur lequel on va s'appuyer. C'est à dire créer une représentation similaire à la réalité de telle façon à faire ressortir les points auxquels on s'intéresse. Pour ce travail nous avons opté pour le langage de modélisation UML.

4.1. Diagrammes de cas d'utilisation

Les diagrammes de cas d'utilisation sont des diagrammes UML utilisés pour donner une vision globale du comportement fonctionnel d'un système logiciel. Un cas d'utilisation représente une unité discrète d'interaction entre un utilisateur (humain ou machine) et un système. Il est une unité significative de travail. Dans un diagramme de cas d'utilisation, les utilisateurs sont appelés acteurs, ils interagissent avec les cas d'utilisation.

Comme nous avons mentionné, notre application sera utilisée par un seul acteur : le neurologue. Nous montrons au-dessous les cas d'utilisation de ce dernier.

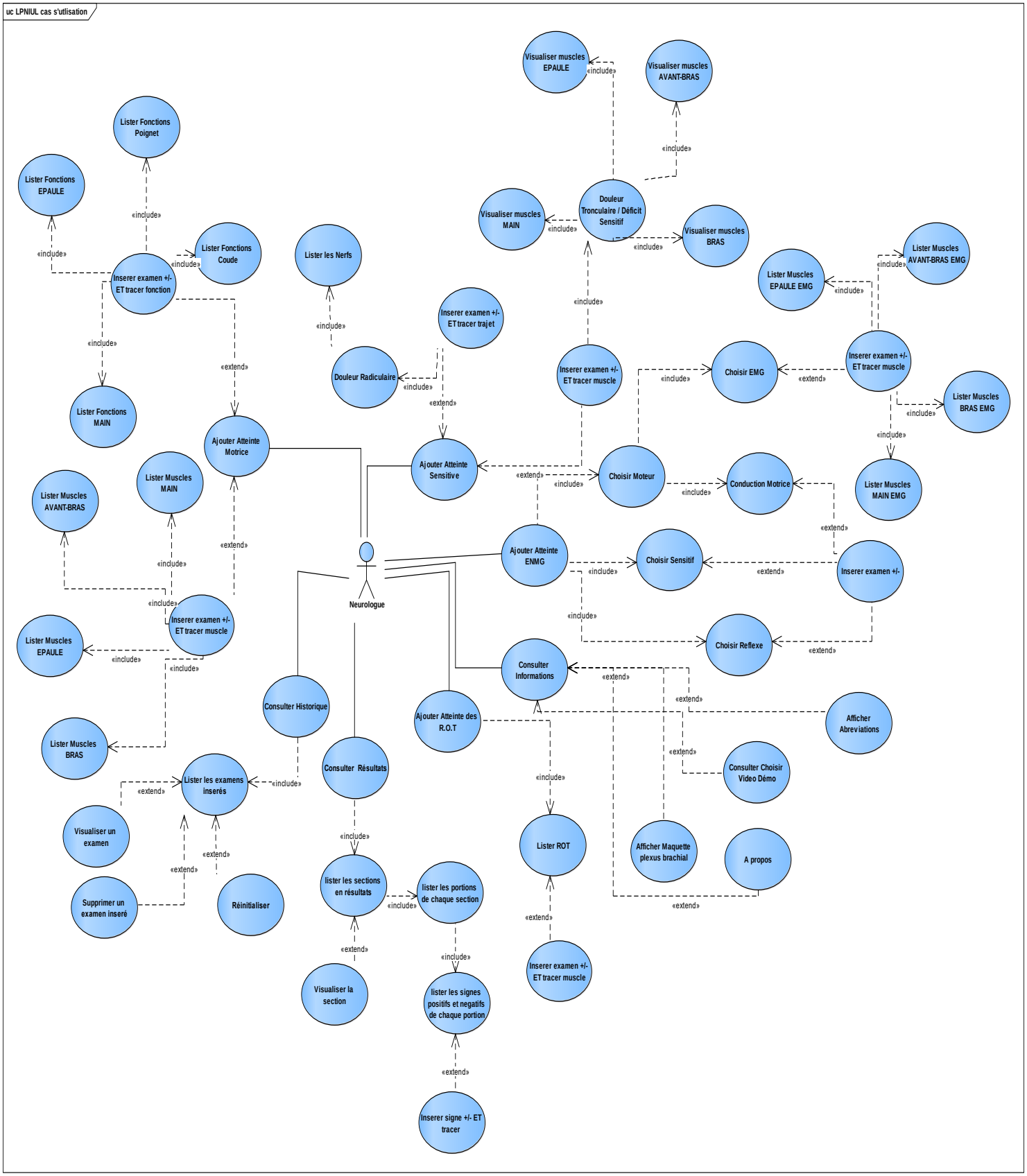


Figure. 17 : Diagramme de cas d'utilisation global

Pour bien comprendre les différentes fonctionnalités mentionnées dans ce diagramme, nous allons décrire quelque unes.

4.1.1. Ajouter une atteinte motrice

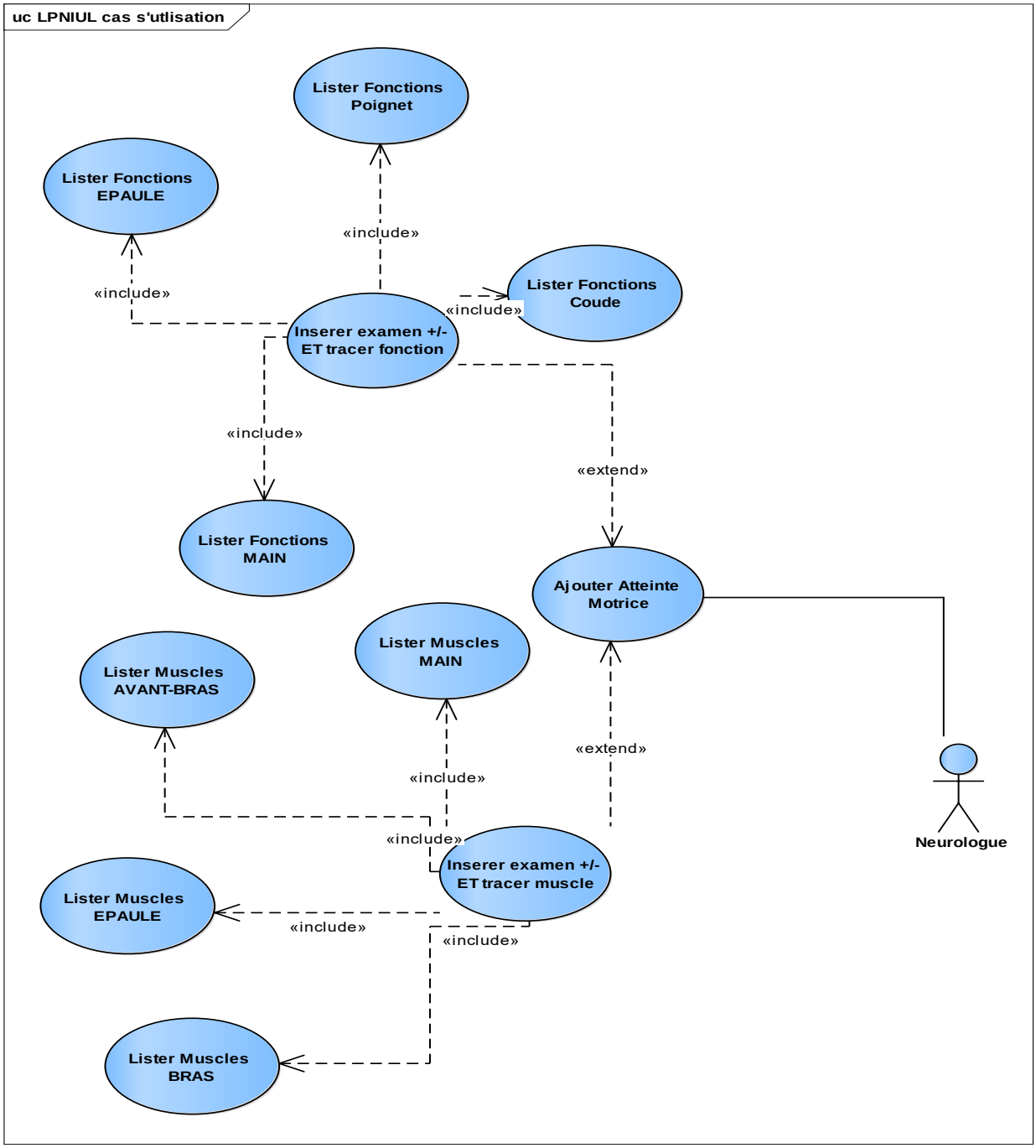


Figure. 18 : Diagramme de cas d'utilisation Atteinte motrice

Le neurologue peut choisir une atteinte motrice, cette dernière se représente sous les deux formes ; l'atteinte motrice par muscle et l'atteinte motrice par fonction. Les deux sont organisés selon l'appartenance ; épaule, bras etc.

Pour le cas d'une atteinte motrice par muscle, le neurologue peut lister les muscles de l'épaule, de l'avant-bras, de la main ou bien du bras. Le neurologue peut choisir un muscle ou bien plusieurs, son choix peut être positif ou bien négatif, le muscle sera tracé et inséré comme un examen dans notre système expert.

Le même processus pour l'atteinte motrice par fonction, l'atteinte sensitive, l'examen ENMG et ROT, le neurologue a toujours le choix de lister les muscles, ou bien les nerfs pour la partie ENMG, et l'insérer comme un examen.

4.1.2. Historique

Apres l'affectation d'un ou plusieurs examens, le neurologue peut consulter son historique. Où il peut visualiser un examen tout seul, ou bien le supprimer. Les examens insérés sont regroupés selon le type de l'examen ; atteinte motrice, atteinte sensitive, ROT, ENMG. Il a aussi la possibilité de réinitialiser la session, pour qu'il puisse recommencer le diagnostic.

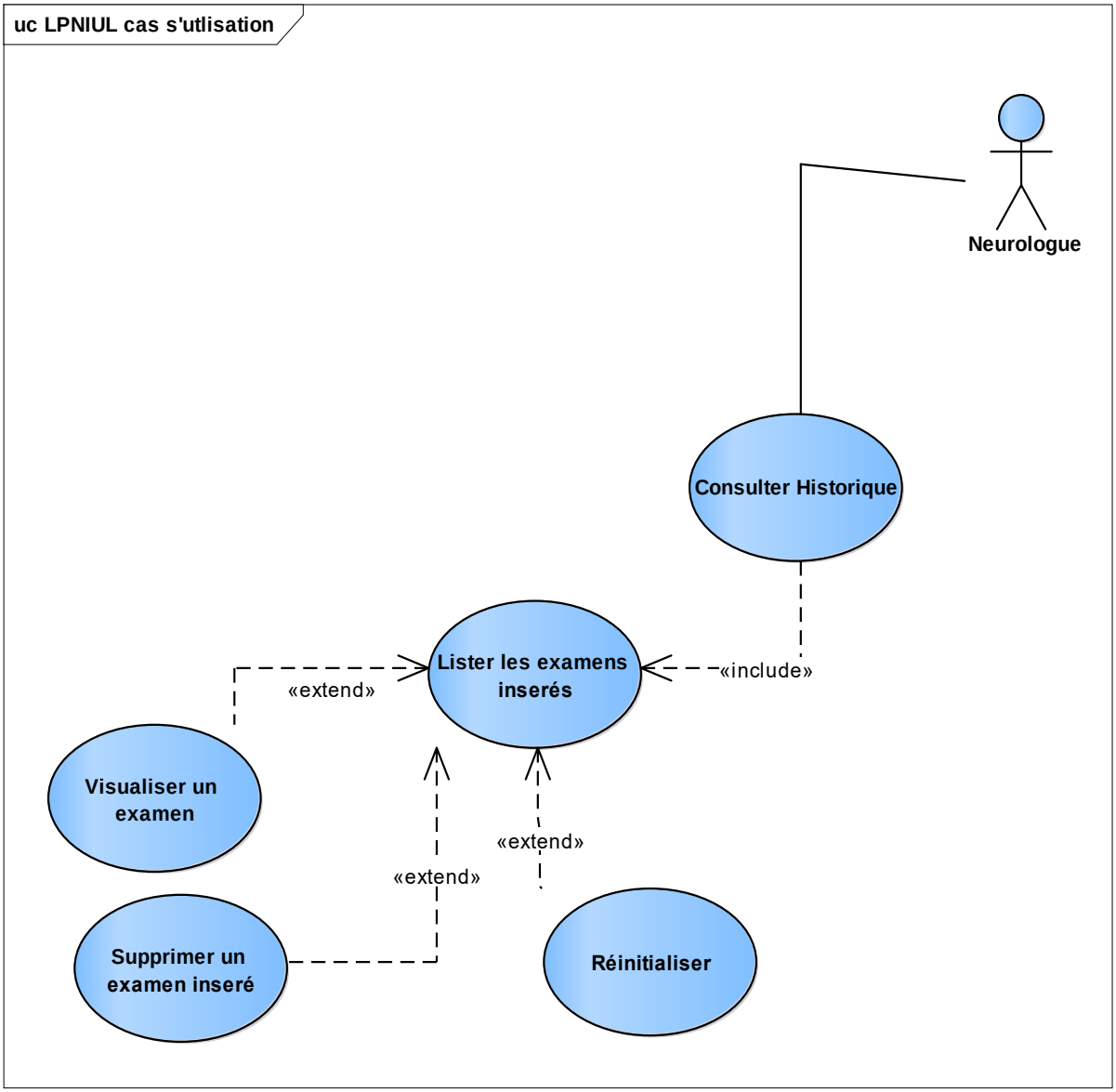


Figure. 19 : Diagramme des cas d'utilisation Historique

4.1.3. Résultats

Après l'insertion des examens, notre acteur peut consulter la liste des résultats, ces résultats sont les sections où probablement siège la lésion. Ils sont affichés dans l'ordre descendant selon la somme des probabilités des portions de chaque section. Chaque section est constituée par une ou plusieurs portions, chaque portion contient une liste des signes positifs et négatifs. Le neurologue peut examiner ces signes. Ces listes peuvent être un support éducatif aussi.

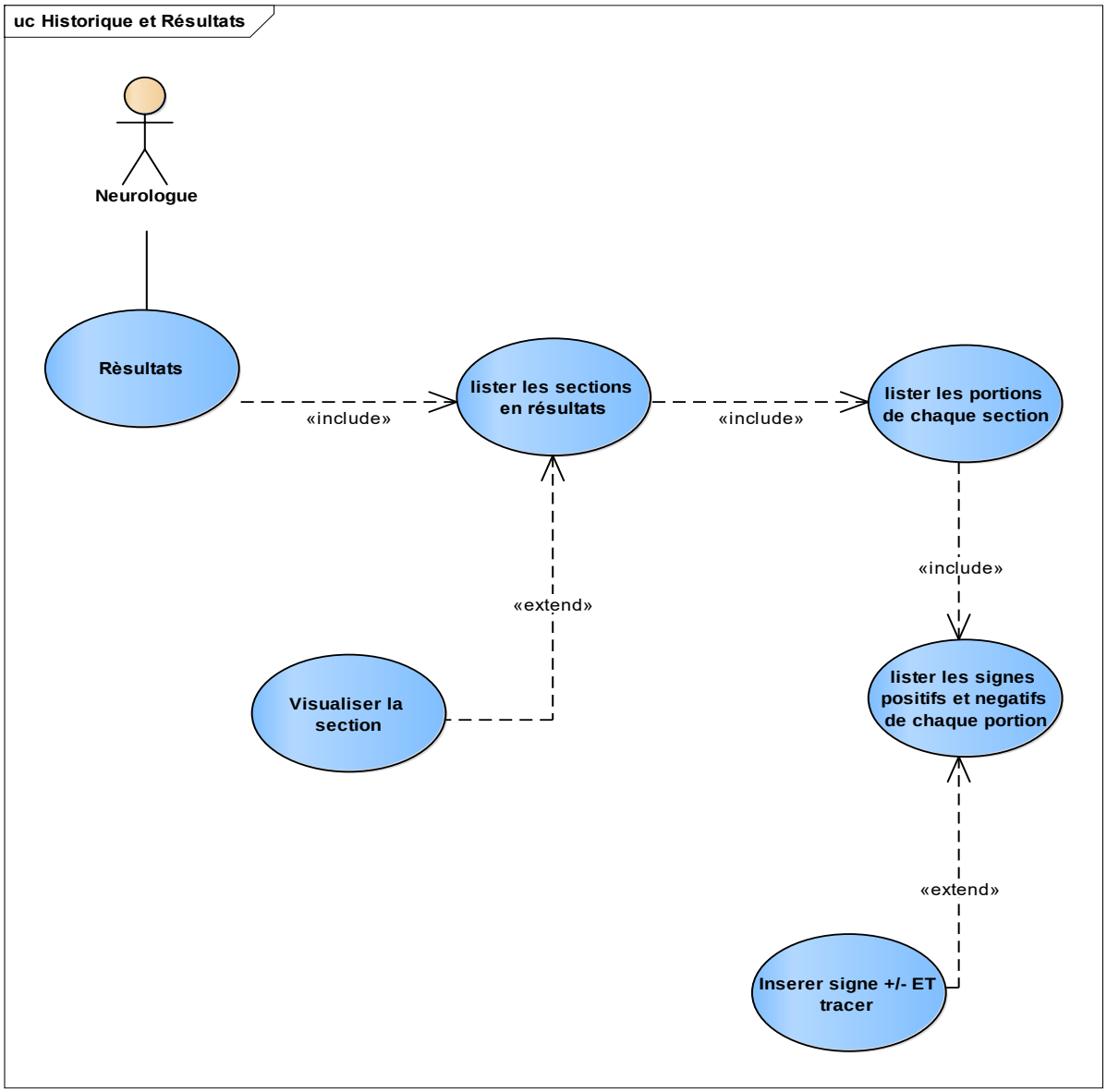


Figure. 20 : Diagramme des cas d'utilisation Résultats

4.2. Diagramme de séquences

Le diagramme de séquence permet de montrer les interactions d'objets dans le cadre d'un scénario d'un Diagramme des cas d'utilisation. Pour simplifier, nous représentons l'acteur principal à gauche du diagramme, et les acteurs secondaires éventuels à droite du système. Le but étant de décrire comment se déroulent les actions entre les acteurs ou objets. La dimension

verticale du diagramme représente le temps, permettant de visualiser l'enchaînement des actions dans le temps, et de spécifier la naissance et la mort d'objets. Les périodes d'activité des objets sont symbolisées par des rectangles, et ces objets dialoguent à l'aide de messages.

4.2.1. Choix d'un muscle de l'atteinte motrice

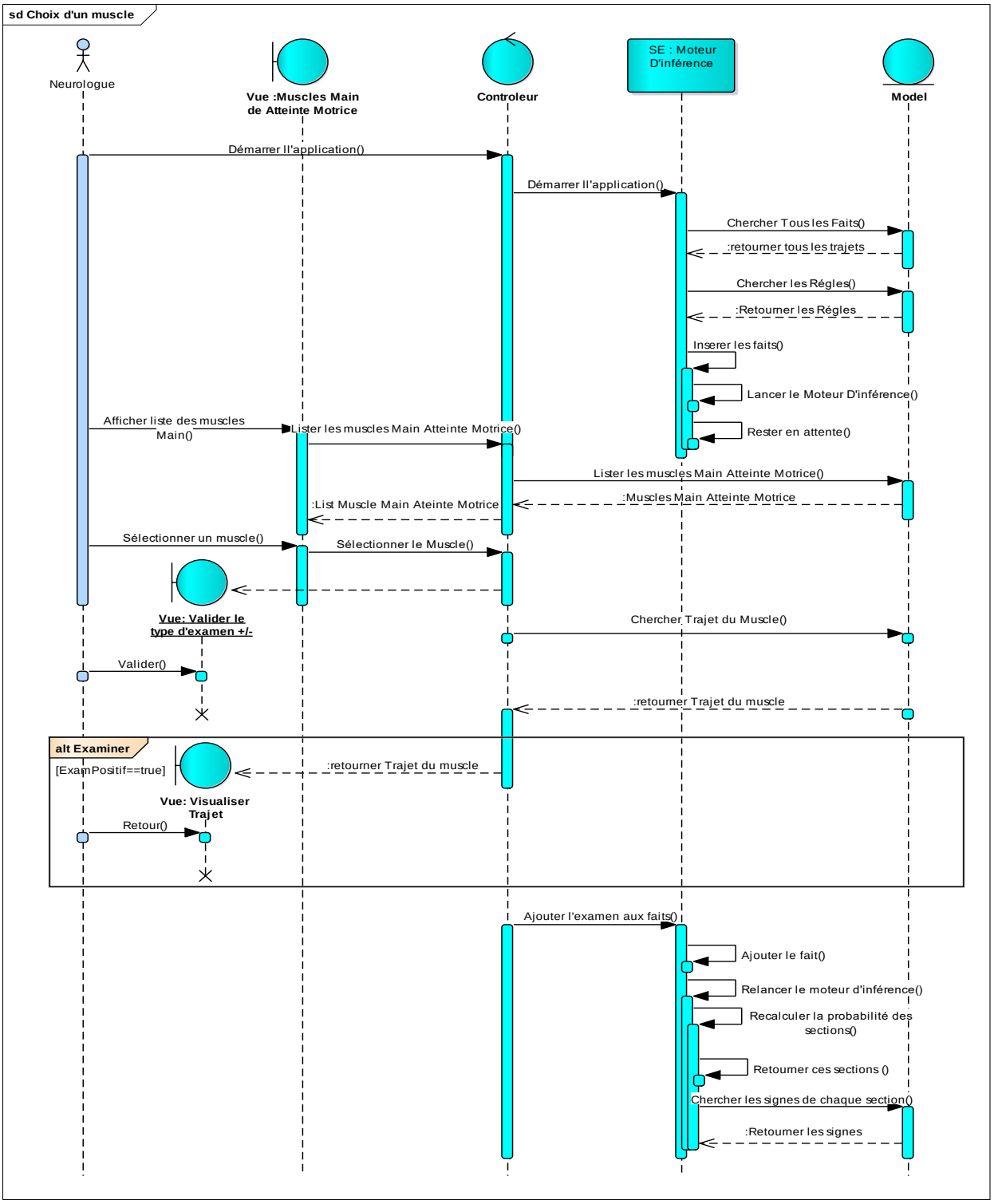


Figure. 21 : Diagramme de séquence Choix d'un muscle de l'atteinte motrice

4.2.2. Historique et réinitialisation

Visualiser ou supprimer un examen inséré.

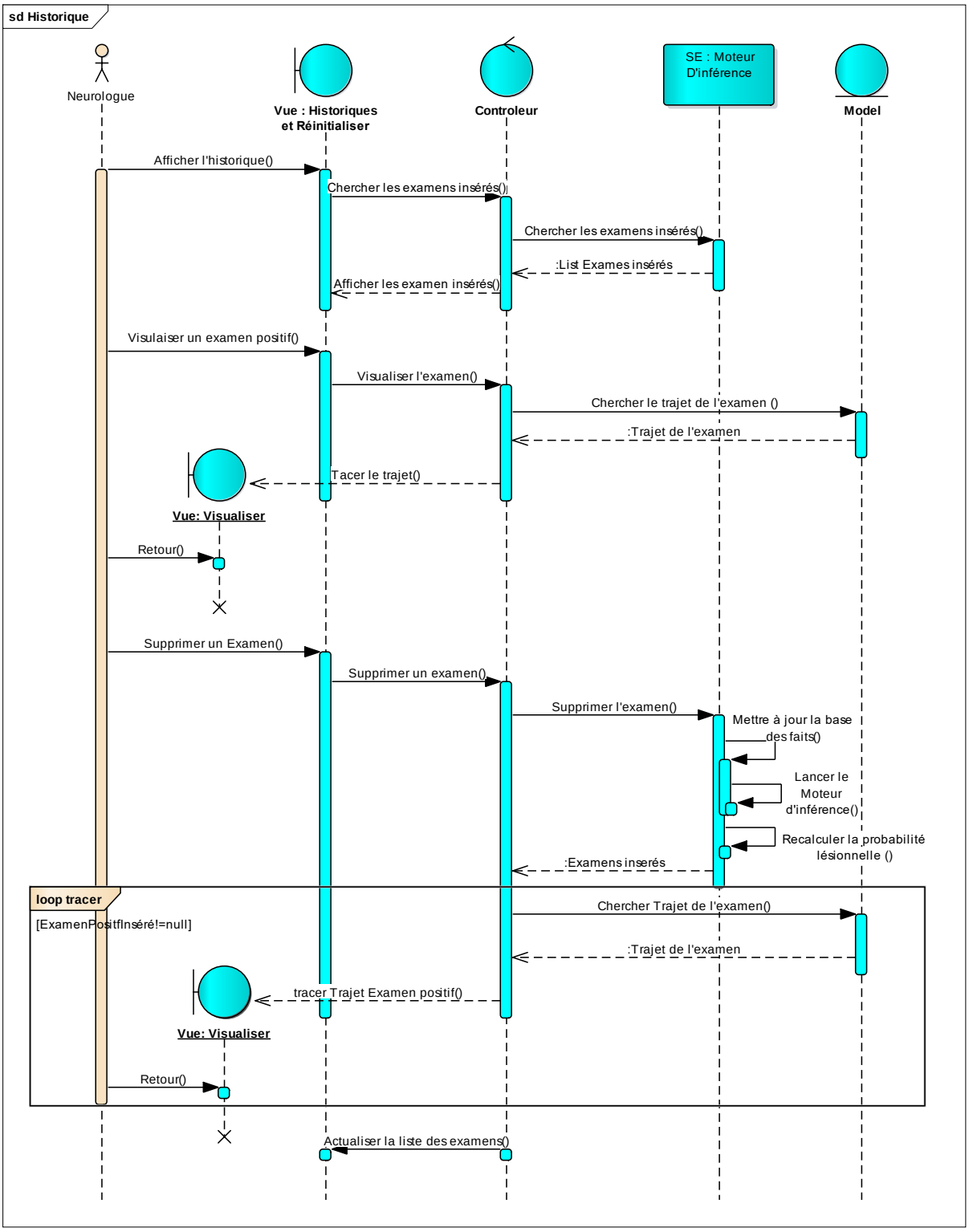


Figure. 22 : Diagramme de séquence Historique et Réinitialisation

Réinitialiser la session.

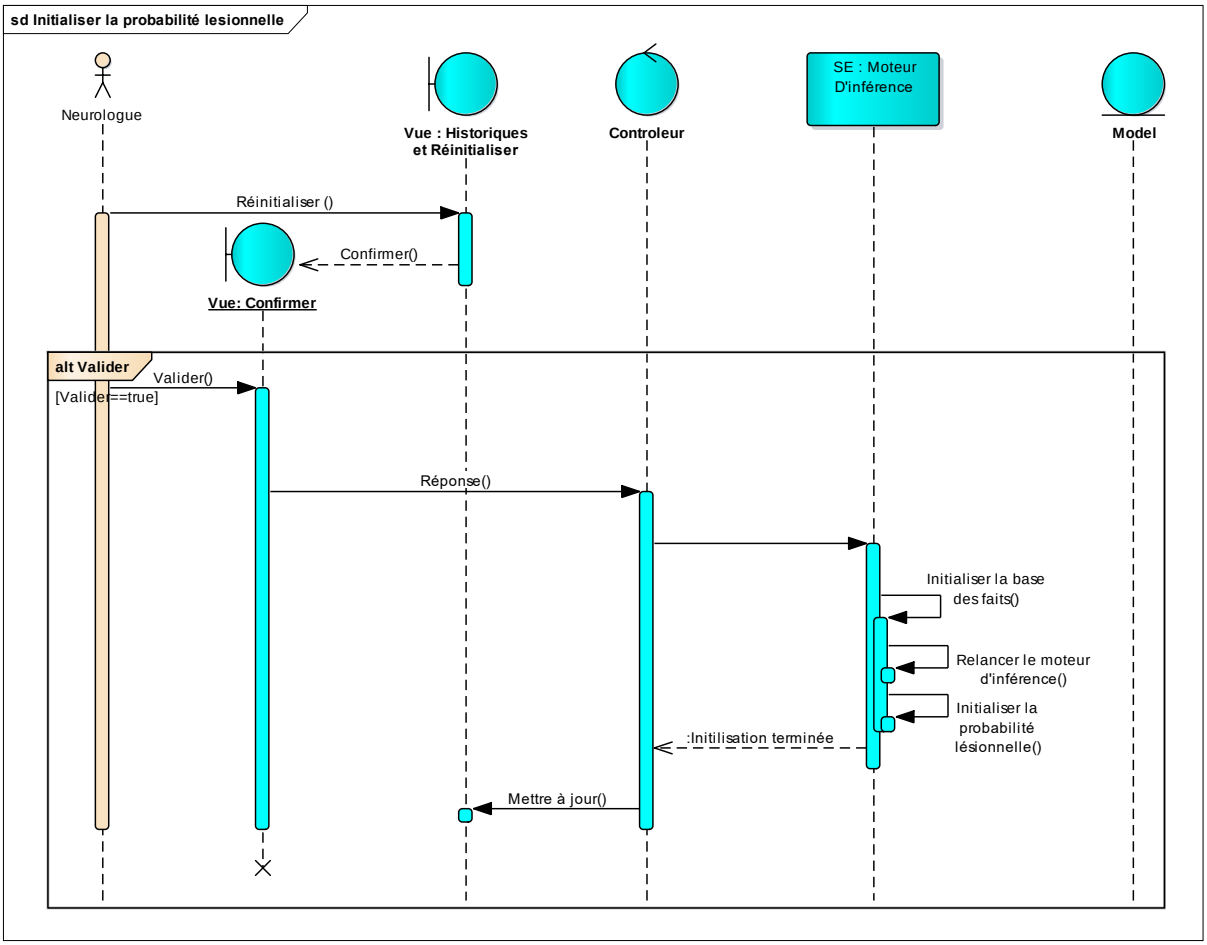


Figure. 23 : Diagramme de séquence Réinitialisation

5. Spécifications techniques

Cette partie présente les outils utilisés pour la réalisation de notre projet. Nous présentons et décrivons les différents outils de conception et de modélisation (langage, méthode, logiciel) que nous avions utilisés dans la conception de notre application.

5.1. Unity3D

L'éditeur Unity comprend de nombreux outils conçus pour permettre d'apporter rapidement des modifications dans le cycles de développement, notamment le mode Play, pour un aperçu rapide de travail en temps réel.

- Disponible sur Windows et Mac
- Compatible avec la 2D et la 3D
- Comprend un système de navigation qui vous permet de créer des PNJ capables de se déplacer intelligemment dans le monde de jeu.
- Permet de créer des interfaces de manière intuitive et rapide.
- Moteurs de physique [9].

5.2. NGUI

NGUI est un Framework très puissant pour l'Interface Utilisateur (UI) et pour le cadre de notification d'événements pour Unity. NGUI est professionnel, gratuit et écrit en C # qui suit le principe **KISS** "**Keep it simple, stupid**". Il dispose d'un code propre et d'une approche simple et minimaliste pour tout.

Comme Unity, il offre des fonctionnalités comme glissez et déposez des objets prêtes à l'emploi comme un bouton, une case à cocher, une barre de défilement et bien d'autres directement dans la vue de scène ou créer une autre en utilisant une approche semblable à celle de Lego. Attacher le composant UIButtonScale. Joigne les scripts et rien d'autre. Enregistrer les contrôles en tant que préfabriqués et réutiliser-les n'importe où. C'est l'approche Unity-like à la création de l'interface utilisateur [10].

5.3. CSharp (C#)

C# est un langage de programmation orientée objet, fortement typé, dérivé de C et C++, ressemblant au langage Java. Il est utilisé pour développer des applications web, ainsi que des applications de bureau, des services web, des commandes, des widgets ou des bibliothèques de classes. En C#, une application est un lot de classes où une des classes comporte une méthode Main, comme cela se fait en Java.

C# est destiné à développer sur la plateforme .NET, une pile technologique créée par Microsoft pour succéder à COM [11].

5.4. Microsoft Visual Studio

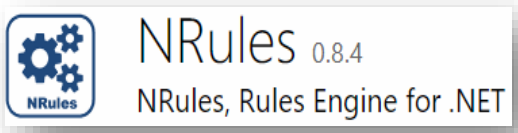
Microsoft Visual Studio est une suite de logiciels de développement pour Windows et macOS conçue par Microsoft. La dernière version s'appelle Visual Studio 2017.

Visual Studio est un ensemble complet d'outils de développement permettant de générer des applications web ASP.NET, des services web XML, des applications bureautiques et des applications mobiles. Visual Basic, Visual C++, Visual C# utilisent tous le même environnement de développement intégré (IDE), qui leur permet de partager des outils et facilite la création de solutions faisant appel à plusieurs langages. Par ailleurs, ces langages permettent de mieux tirer parti des fonctionnalités du framework .NET, qui fournit un accès à

des technologies clés simplifiant le développement d'applications web ASP et de services web XML grâce à Visual Web Developer.

Durant sa conférence Connect() 2016, Microsoft a annoncé le portage de Visual Studio sur macOS, le système d'exploitation d'Apple [12].

5.5. NRules



NRules est un moteur de règles de production pour .NET, basé sur l'algorithme de correspondance **Rete**. Les règles sont créées en C # en utilisant le DSL interne.

NRules est également un moteur d'inférence, où, contrairement aux moteurs de script, il n'y a pas d'ordre prédéfini dans lequel les règles sont exécutées. Au lieu de cela, le moteur d'inférence détermine quelles règles doivent être activées en fonction des faits qui lui sont attribués, puis les exécute selon un algorithme de résolution de conflit [13].

5.6. Entreprise Architect

Entreprise Architecte un outil d'analyse et de création UML, couvrant le développement de logiciels du rassemblement d'exigences, en passant par les étapes d'analyse, les modèles de conception et les étapes de test et d'entretien.

Cet outil graphique basé sur Windows, peut être utilisé par plusieurs personnes et conçu pour vous aider à construire des logiciels faciles à mettre à jour. Il comprend un outil de production de documentation souple et de haute qualité [14].

5.7. Adobe Photoshop

Photoshop est un logiciel de retouche, de traitement et de dessin assisté par ordinateur, lancé en 1990 sur MacOS puis en 1992 sur Windows qui a révolutionné la photographie et jusqu'à la conception que l'on pouvait s'en faire.

Édité par Adobe, il est principalement utilisé pour le traitement de photographies numériques, mais sert également à la création d'images.

Il travaille essentiellement sur images matricielles car les images sont constituées d'une grille de points appelés pixels. L'intérêt de ces images est de reproduire des gradations subtiles de couleurs [15].

Chapitre 3 : Système expert LPNIUL d'aide à la décision médical

1. Les systèmes d'aide à la décision médicale

L'expansion continue des connaissances médicales au fil des années, l'arrivée de nouvelles maladies et des nouveaux médicaments ou autres procédures thérapeutiques, avec les progrès de l'imagerie et le développement des tests biologiques rend le diagnostic plus complexe même avec les solutions classiques (les livres et les ressources médicales), Ce qui conduit à une limite humaine et temporelle dans la pratique quotidienne de la médecine. De ce fait, une bonne prise en charge des patients nécessite que le médecin soit outillé pour réaliser ces tâches complexes. C'est le but des systèmes d'aide à la décision médicale qui occupent de nombreux chercheurs depuis de nombreuses années maintenant.

1.1. La notion de la décision

Le terme décision renvoie à l'effectuation d'un choix entre plusieurs solutions susceptibles de résoudre un problème ou une situation. Pour la prise de décision, il est souvent utile de faire appel à une aide extérieure dans l'objectif de guider le décideur vers des décisions qu'il aura à prendre sous sa responsabilité. En médecine, la décision est considérée comme étant le centre de l'acte médical. Le processus de la décision médicale consiste entre autres à poser un diagnostic et proposer une thérapeutique.

1.2. Définitions des systèmes d'aide à la décision médicale

Les SADM sont des outils informatiques capables de traiter l'ensemble des caractéristiques d'un patient donné afin de générer les diagnostics probables de son état clinique (aide au diagnostic) ou les traitements qui lui seraient adaptés (aide à la thérapeutique).

Les SADM sont « des applications informatiques dont le but est de fournir aux cliniciens en temps et lieux utiles les informations décrivant la situation clinique d'un patient ainsi que les connaissances appropriées à cette situation, correctement filtrées et présentées afin d'améliorer la qualité des soins et la santé des patients » [16].

Ainsi, de très nombreuses applications ont été développées dans ce domaine. Ces applications sont destinées à soutenir le personnel de santé dans leurs prises de décisions. Cela implique l'utilisation de divers outils d'aide à la décision.

1.3. La typologie des SADM

Les objectifs d'un système dépendent des utilisateurs, de leurs fonctions et de leurs connaissances. Le degré d'aide à la décision et les fonctions attendues doivent également être définies. Il existe ainsi trois grandes catégories de systèmes :

- **Les systèmes d'assistance documentaire ou les systèmes d'aide indirecte à la prise de décision :** Facilitent l'accès aux informations pertinentes, en un temps record. L'interface utilisateur doit être particulièrement ergonomique. Ces systèmes doivent gérer des bases de données et utiliser éventuellement le multimédia et les réseaux.
- **Les systèmes d'alerte :** Assistent les utilisateurs en déclenchant automatiquement des alarmes signifiant des erreurs à ne pas commettre ou rappelant des informations concernant une prise de décision pour une situation donnée.
- **Les systèmes consultants :** Face à une situation médicale bien définie telle que : un diagnostic, une thérapie ou un pronostic, ces systèmes tentent d'émettre un avis de spécialiste. Dans cette catégorie, on trouve les systèmes experts médicaux [17].

1.4. Approches des SADM

Parmi les différents types des systèmes d'aide à la décision médicale, on distingue classiquement les approches numériques de l'aide à la décision qui se fondent sur des données et les approches symboliques de l'aide à la décision qui utilisent des connaissances(Tableau. 1) [18].

	Aide au diagnostic	**Aide à la thérapeutique**
Approches numériques	-Modéles probabilistes -calcul de scores	-Modeles pronostiques
Approches symboliques	-systemes experts (DXplain)	-Système experts (Mycin) -Approches documentaires et automatiques pour la mise en œuvre des recommandations de pratique clinique

Tableau. 1 : Panorama des approches utilisées pour l'aide à la décision diagnostique et thérapeutique

1.4.1. Approches numériques, décider à partir des données

Les SADM s'appuient sur des modélisations mathématiques permettant de produire des probabilités à partir d'un jeu de données (probabilité d'un diagnostic, de la survenue d'un événement grave, etc.). On considérera également le cas des systèmes d'aide à la décision médicale permettant le calcul de scores.

- **Les approches probabilistes pour l'aide au diagnostic :** Historiquement, les premiers systèmes d'aide à la décision médicale étaient des systèmes d'aide au diagnostic. Ils utilisaient des approches numériques, essentiellement statistiques et probabilistes. Les approches numériques proposent une modélisation commune des données du problème à résoudre. On considère une base de données construite à partir du recueil de **k** variables (les signes, les symptômes, les résultats d'examens complémentaires) pour un groupe de patients pour lesquels on dispose des diagnostics répartis en **n** catégories. Les approches probabilistes, développées à partir du théorème de Bayes, permettent de calculer pour tout nouveau patient caractérisé par un vecteur **X** des **k** variables, les probabilités a posteriori des **n** différentes hypothèses diagnostiques $\mathbf{D_i}$:

$$\forall i = 1,\ldots n, P(D_i / X) = \frac{P(X / D_i) . P(D_i)}{P(X)}$$

  - $P(D_i)$: Les probabilités a priori des différents diagnostics.
  - $P(X/D_i)$: Les probabilités a posteriori des associations X de variables dans les diagnostics D_i sont estimées par les fréquences correspondantes calculées sur la base de données.

- **L'aide au calcul de scores :** De très nombreux scores cliniques ont été construits et validés pour aider le médecin dans sa démarche diagnostique et thérapeutique. Le principe de ces scores est simple : le médecin pose un nombre fixe de questions standardisées et le score final prend souvent la forme d'une somme, pondérée ou non, des résultats des réponses aux questions. Des seuils permettent de conclure (par exemple : détérioration intellectuelle absente, légère, importante).

Les approches numériques de l'aide à la décision médicale basées sur les données sont toujours largement utilisées (en particulier dans le cas de la médecine prédictive et du calcul de score). Néanmoins, ces systèmes sont utilisés comme de super calculateurs de risques, de scores, autant de résultats qui viennent alimenter la réflexion du médecin qui garde le contrôle de la décision, et de la démarche décisionnelle.

1.4.2. Approches symboliques, décider à partie des connaissances

Les approches symboliques utilisent une modélisation des connaissances mobilisées par le raisonnement pour décider. Ces systèmes d'aide à la décision médicale mettent en œuvre un raisonnement logique pour résoudre le problème posé par un patient donné qu'il soit de nature diagnostique ou thérapeutique. Un exemple de cette approche, est le système expert.

2. Systèmes Experts d'aide à la décision médicale

2.1. Définitions et objectifs

Réaliser des systèmes, capables de faire ce que l'homme fait en raisonnant, est une idée très ancienne bien que le terme Intelligence Artificielle soit né seulement en 1956 avec les premiers systèmes informatisés. Cette discipline de l'informatique s'est véritablement développée avec l'apparition des systèmes experts dans les années 70.

On peut définir le système expert comme étant un système informatique qui imite la démarche de la personne compétente dans un domaine donné, quelle que soit la méthode de raisonnement qu'elle utilise. De plus, il doit être interactif, capable de dialoguer avec ses utilisateurs et d'expliquer ses raisonnements [17].

Le principe est de demander à un ou plusieurs experts d'établir des règles qui décrivent leur façon de prendre leurs décisions. Ce qui signifie en termes médicaux, une stratégie de diagnostic et/ou thérapeutique. Donc le rôle d'un système expert médical est de fournir une aide médicale sous une forme appropriée à partir de symptômes préalablement établis.

2.2. Les composants d'un système expert

Un système expert se compose, classiquement d'une base de connaissances, d'un moteur d'inférences et de différentes interfaces permettant la communication entre l'expert et le système, et entre l'utilisateur et le système.

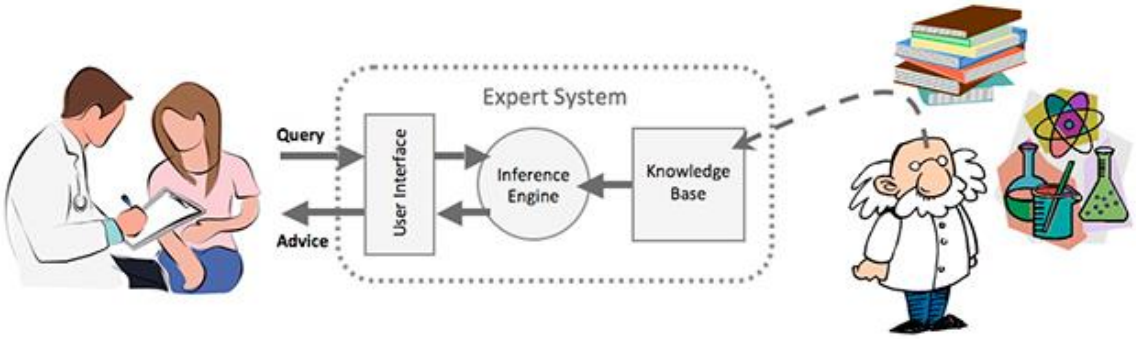


Figure. 24 : Architecture générale d'un système expert

- **La base des connaissances** : Fournie par l'expert (médecin en l'occurrence), contient toutes les connaissances médicales théoriques et empiriques nécessaires à la démarche diagnostique ou thérapeutique. Elle se compose d'une base de faits et d'une base de règles.
- **La base des faits** : C'est la mémoire de travail du système expert. Contient toutes les connaissances représentant les différentes situations du problème à résoudre, son contenu dépend du problème traité. La base de faits intègre deux types de faits : les faits primaires

du domaine (hypothèses ou entrées) et les faits intermédiaires déduits par le moteur d'inférences. Exemple : X est-un signe positif de Y.

- **La base des règles** : Contient les connaissances expertes (règles de l'expert) possédées sur le problème à résoudre. Il existe de nombreux langages de représentation de ces connaissances, parmi lesquels les règles de production construites sur le modèle « Si condition Alors action » sont les plus utilisées. Exemple : Si Paume-Poignet est normale alors le nerf terminal est conservé.

- **Le moteur d'inférences** : Un programme qui implémente les mécanismes de raisonnement permettant la résolution d'un problème décrit par des faits dans la BDF en utilisant les règles décrites dans la BDR. Ce programme ne dépend pas du problème et il gère l'application des règles aux faits (Quelles sont les règles applicables ? Comment et dans quel ordre elles doivent être appliquées ? Comment conclure sur la résolution du problème ?).

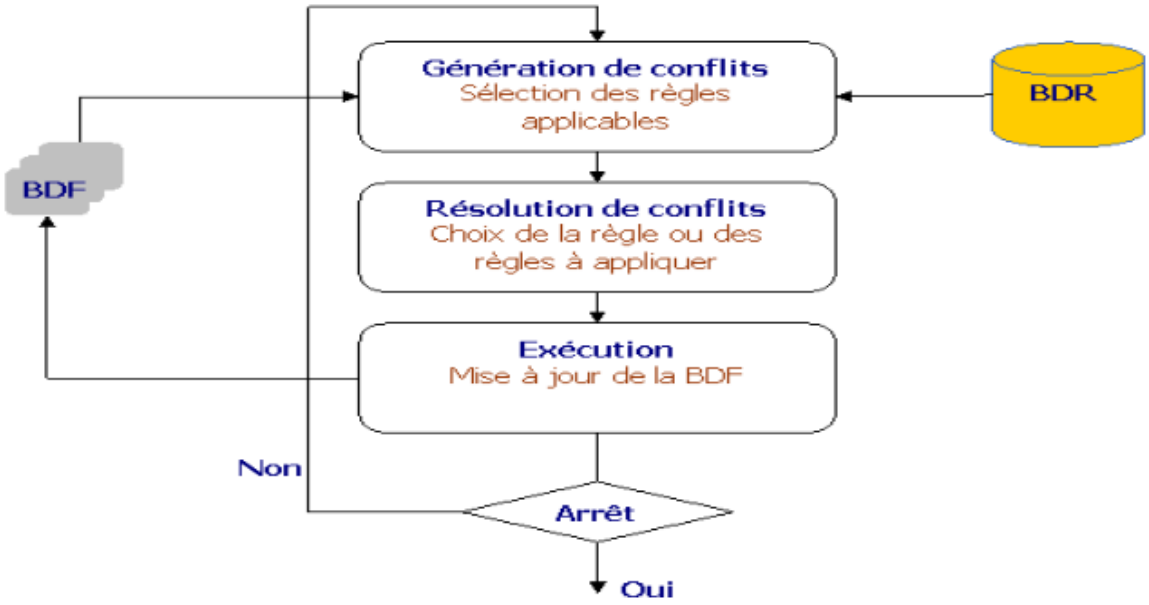


Figure. 25 : Moteur d'inférence du système expert

Le moteur d'inférence détermine comment évaluer l'applicabilité des règles de la BDR afin de les sélectionner pour l'ensemble de conflits, il existe trois modes :

- Chainage avant : On part de la base de faits initiale, on déclenche toutes les règles dont les prémisses sont satisfaites ; on ajoute les faits ainsi obtenus ; on poursuit jusqu'à « saturation ».

- Chainage arrière : Consiste à sélectionner les règles dont les conclusions se trouvent dans la BDF. On regarde toutes les règles qui ont le but dans leurs conséquences. Chacune de ces règles est considérée : si toutes ses prémisses sont satisfaites dans

la base de faits initiale, le but est atteint, sinon on enregistre les prémisses inconnues comme autant de nouveau buts et on recommence le cycle sur chacun d'eux.

- **L'interface :** Pour communiquer avec le système, cette interface de dialogue doit être la plus conviviale possible.

2.3. Exemples des systèmes experts pour l'aide à la décision médicale

Le tableau suivant résume quelques systèmes experts médicaux en précisant leurs domaines et leurs buts :

Système expert	Domaine	But
MYCIN	maladies infectieuses	Identification des microorganismes responsables des infections, conseil sur le choix d'un antibiotique
INTERNIST-I	Médecine interne	Diagnostic des problèmes complexes en médecine interne
PROTIS	Diabétologie	Aide les médecins généralistes dans le traitement du diabète
SAM	hypertensions artérielles	Diagnostic des hypertensions artérielles

Tableau. 2 : Exemples des systèmes experts d'aide à la décision médicale

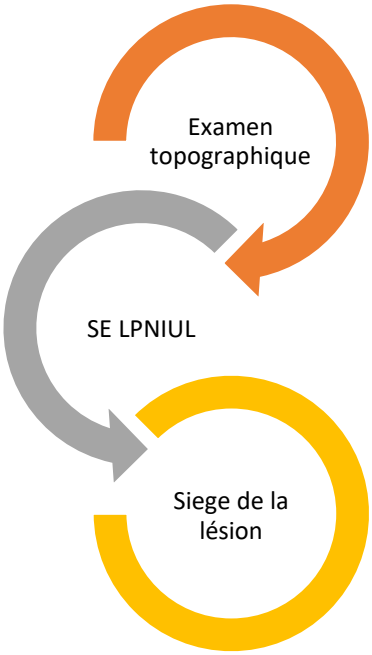
3. Architecture et réalisation du système expert LPNIUL

La taille et la complexité croissante des connaissances médicales, telles que les données physiopathologiques ou les moyens diagnostiques et thérapeutiques, obligent le médecin à gérer toujours plus d'informations pour soigner un patient. Le diagnostic topographique d'une lésion des nerfs périphériques, particulièrement celle du membre supérieur, est l'une des démarches les plus complexes et difficiles. Malheureusement, on ne retrouve pas d'outil d'aide accessible immédiatement et facilement devant le patient, loin des classiques livres de poche. Pour pallier à cette limite on peut faire appel au domaine de l'intelligence artificielle et des systèmes experts.

Le système expert LPNIUL est considéré comme un multiplicateur de compétences, permet de disposer de l'essentiel des connaissances du neurologue et d'y accéder d'une manière conviviale. Notre système modélise la pratique du neurologue. Dans un premier temps, il

recueille des signes et des symptômes reçus à partir de l'écoute et de l'examine du patient, puis il évoque des hypothèses diagnostiques susceptibles d'expliquer les signes observés, ces hypothèses sont des racines, des troncs et des nerfs terminaux du plexus brachial qui peuvent être atteints. Dans un second temps, notre système propose des examens utiles à la validation du diagnostic. Les résultats de ces examens offrent les informations qui permettant de confirmer ou infirmer l'une ou l'autre hypothèse. Jusqu'à cette étape le système expert LPNIUL a retracé la démarche du neurologue en lui donnant de l'aide pour passer à l'étape de la prise de décision, qui consiste à comparer les lignes d'action possibles et de choisir la meilleure.

Ce système est basé sur les caractéristiques suivantes : 700 faits initiales (102 Trajets nerveux, 17 examens ENMG, 39 Fonctions, 542 Signes) et 217 règles.



3.1. L'approche LPNIUL

L'idée est de relever en un premier temps, tous les éléments descriptifs du schéma du plexus brachial. Un plexus brachial est constitué d'un ensemble de sections de différents types (racines cervicaux, des troncs primaires, des faisceaux et des nerfs terminaux), Chaque section est composée d'une ou plusieurs portions.

La portion est l'élément principal de notre système. Cet élément est caractérisé par un certain nombre de paramètres : La section conteneur, l'ordre de la portion dans la section la quantité fibrique, le nombre d'activation, les signes positifs, les signes négatifs, le poids d'activation et la probabilité lésionnaire.

- **La section conteneur** : Où appartient la portion, exemple : C5.

- **L'ordre de la portion dans la section** : Cet ordre qui détermine les signes négatifs pris en considération.
- **La quantité fibrique** : Le degré de dominance des fibres nerveuses passant par cette portion, C'est un paramètre prenant l'une des deux valeurs suivantes : Principal ou Accessoire.
- **Le nombre d'activation** : La valeur de ce paramètre dépend de la quantité fibrique de la portion, sachant que :

$$\text{NombreActivation(Pp)} = FacteurEquivalence \times NombreActivation(Pa)$$

* Pp = Portion de type principale, Pa = Portion de type accessoire.

- **Les signes positifs** : l'activation de ces signes supporte l'hypothèse que la portion est atteinte, ils sont donnés par le rapporteur de la thèse.
- **Les signes négatifs** : dépend de l'ordre de la portion. En général, les signes négatifs d'une portion sont les signes de la(les) portion(s) précédente(s).
- **Le poids d'activation** est calculé à partir de cette formule :

$$PoidsActivation(Pi) = NombreActivation(Pi) + \sum_j PoidsSignes(Pi - j)$$

* 1< j <n, n est le nombre des portions précédentes avec :

$$PoidsSignes(Pk) = \frac{NombreSPA}{NombreSP}$$

*NombreSPA = Nombre des signes positifs actifs,

NombreSP = Nombre des signes positifs

- **La probabilité lésionnelle** donne l'information où siège la lésion périphérique, se calcule comme suit :

$$ProbaLesionnelle(Pi) = \frac{PoidsActivation(Pi)}{\sum_i PoidsActivation(Pi)}$$

3.2. La base des faits

La mémoire de travail du SE LPNIUL (système expert LPNIUL) utilise plusieurs formes de description des faits :

- **Description-classification** : (C5 est une racine), (le tronc primaire supérieur antérieur est une division), (Ulnaire est un nerf terminal), etc.
- **Description-structure** : (DELTOIDE est un muscle de l'épaule), (FLECHISSEUR ULNAIRE DU CARPE est un muscle de l'avant-bras), (Paume-Poignet est une

conduction sensitive du nerf terminal médian), (PETIT RHOMBOIDE est un signe positif du portion C5-P2), etc.

- **Description-définition :** (Une fonction est un ensemble des trajets), (Un trajet est un ensemble des sections et des branches collatérales), (Une racine est une section), (une section est un ensemble des portions), (un signe peut être un muscle, fonction ou ENMG), etc.

Les faits dans NRules sont des classes (Figure. 26), voici quelques exemples des faits initiaux :

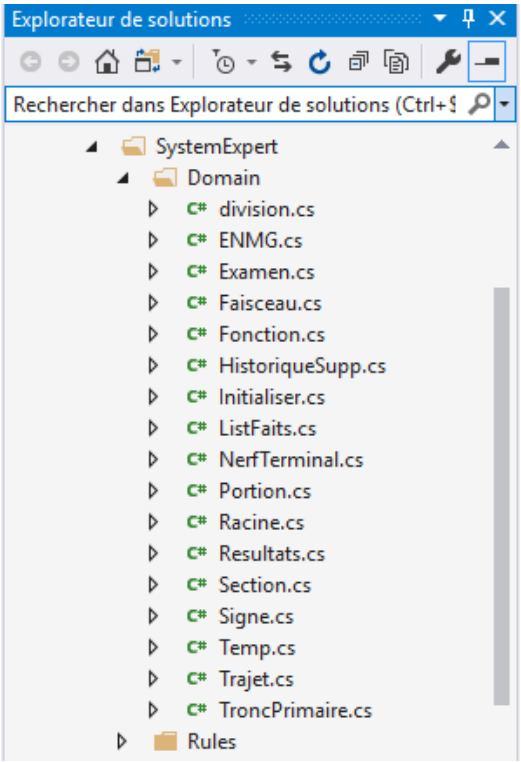


Figure. 26 : Base des faits LPNIUL

Le fait DELTOIDE, est un trajet de type muscle dans l'épaule

```
//DELTOIDE
Racine = new Racine();
TP = new TroncPrimaire();
D = new Division();
F = new Faisceau();
NT = new NerfTerminal();
listeBranches = new ArrayList();

Racine.C5 = new Section("C5", "Principal", getListePortion(3), null);
Racine.C6 = new Section("C6", "Accessoire", getListePortion(2), null);
TP.TPSuperieur = new Section("TPSuperieur", "Principal", getListePortion(3), null);
D.TPSuperieurPosterieur = new Section("TPSuperieurPosterieur", "Principal", getListePortion(1), null);
F.FaisceauxPosterieur = new Section("FaisceauxPosterieur", "Principal", getListePortion(4), null);
NT.NTAxillaire = new Section("NTAxillaire", "Principal", getListePortion(1), null);

Trajet DELTOIDE = new Trajet("DELTOIDE", "MOTRICE", "EPAULE", Racine, TP, D, F, NT, listeBranches, 14);
session.Insert(DELTOIDE);
//-----------------------------------------------------------------------------------------------------------
```

Le fait ADDUCTION DU POUCE, est une fonction de la main

```
listeMuscles = new ArrayList();
listeMuscles.Add("ADDUCTEUR_DU_POUCE");
listeMuscles.Add("INTEROSSEUX_PALMAIRES");
Fonction ADDUCTION_POUCE = new Fonction("ADDUCTION_POUCE", "MOTRICE", "MAIN", "Propres", "POUCE", listeMuscles);
session.Insert(ADDUCTION_POUCE);
```

Le fait Paume-Poignet, est un ENMG de type conduction sensitive du nerf terminal médian

```
//Conduction SENSITIVE
static ENMG CS_NTMedian = new ENMG("Paume-Poignet", "SENSITIVE", "NTMedian", true, true, true);
```

Les faits signes de la portion C5-P1

```
//C5-P1
static Signe C5_P1_AM_M1 = new Signe("C5", "P1", "DENTELE_ANTERIEUR", "MOTRICE", "Muscle");
static Signe C5_P1_AM_F1 = new Signe("C5", "P1", "ABDUCTION_ST", "MOTRICE", "Fonction");
static Signe C5_P1_AM_F2 = new Signe("C5", "P1", "ABAISSEMENT_ST", "MOTRICE", "Fonction");
static Signe C5_P1_AM_F3 = new Signe("C5", "P1", "SONNETTE_INTERNE_ST", "MOTRICE", "Fonction");
```

La base des faits s'enrichira progressivement à la demande du système pour qu'il puisse progresser vers la solution. Par exemple, avec le fait initial (fonction ABDUCTION_ST active), le système expert trouve le fait portion C5-P1 atteinte. La base des faits contiendra alors : (fonction ABDUCTION_ST active) (fonction ABDUCTION_ST contient le trajet nerveux DENTELE_ANTERIEUR) (DENTELE_ANTERIEUR active), (DENTELE_ANTERIEUR est un signe de C5-P1), (portion C5-P1 atteinte).

Cette base des faits peut jouer le rôle de mémoire auxiliaire, en mémorisant tous les résultats intermédiaires. Ils permettent de conserver une trace des raisonnements effectués par le système. Ils peuvent expliquer l'origine des connaissances déduites par le système expert.

3.3. La base des règles

Nos règles se présentent en trois formes :

- **Des lois, des théorèmes** : Le poids d'activation d'une portion est donné par le nombre des signes actives sur le nombre total des signes plus le nombre d'activation.
- **Des règles d'expertise** : Si Paume-Poignet est normale Alors le nerf terminal Ulnaire est conservé.
- **Des stratégies** : Si signe négatif désactive Alors supprimer la portion.

Lors de l'utilisation de NRules, une règle est une classe qui hérite de `NRules.Fluent.Dsl.Rule`. C'est un ensemble de conditions (modèles qui correspondent à des faits dans la mémoire du moteur de règles) et un ensemble d'actions exécutées par le moteur en cas de déclenchement de la règle. Les conditions sont spécifiées dans la méthode `When()` et les actions dans `Then()`.

Prenons quelques exemples :

La règle « Examen_Trajet » : `Si un examen de type atteinte motrice n'est pas active Alors active examen et active ce trajet`

Dans la partie When() on cherche si il n'existe aucun trajet ou ENMG sont en cours de traitement, et aucun examen avec le même nom n'est déjà active, si les conditions sont vraies alors, dans la partie Then() on active le trajet et l'examen pour lancer les traitements.

Lorsqu'une règle correspond à un ensemble de faits (les faits satisfont toutes les conditions de la règle), la règle est activée. Si la règle de priorité la plus élevée est activée, la règle se déclenche et ses actions sont exécutées. Les règles ne se limitent pas aux faits correspondants qui ont été insérés dans la mémoire du moteur depuis l'extérieur du moteur. Les règles elles-mêmes peuvent produire de nouveaux faits (ou modifier des faits existants), ce qui entraînerait le déclenchement d'autres règles. Ce processus d'une règle entraînant le déclenchement d'une autre règle est le chaînage avant, et c'est le type de chaînage utilisé par NRules.

La base de connaissance est complètement indépendante du mécanisme d'exploitation des connaissances. L'expert peut ajouter modifier ou supprimer des connaissances sans s'occuper du mécanisme d'exploitation.

3.4. Le moteur d'inférence

Il n'y a pas d'ordre prédéfini dans lequel les règles sont exécutées, le moteur d'inférence NRules exécute un cycle (match / resolve / act ou correspondance / résolution / action) pour affecter un ordre. Il cherche d'abord la correspondance des faits (instances des entités de domaine dans notre cas) avec les règles, et détermine quelles règles peuvent être déclenchées. Il résout ensuite le conflit en choisissant une seule règle qui se déclenchera réellement. Il déclenche la règle choisie en exécutant ses actions. Le cycle est répété jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de règles à lancer.

Nous avons effectué plusieurs tâches pour que le moteur entre dans le cycle de correspondance / résolution / action. Tout d'abord, nous avons chargé les règles et les compilé dans une structure interne (réseau Rete), afin que le moteur connaisse les règles et puisse faire correspondre efficacement les faits : Nous faisons cela en créant un rules repository et en le laissant analyser un assemblage pour trouver les classes de règles. Ensuite, nous compilons les règles dans une session factory, et après, nous créons une session de travail avec le moteur et insérer les faits dans la mémoire du moteur.

```
Program.cs
SE_LPNIUM                                   SE_LPNIUM.Program
55      static void Main(string[] args)
56      {
57          //Load rules
58          var repository = new RuleRepository();
59          repository.Load(x => x.From(Assembly.GetExecutingAssembly()));
60
61          //Compile rules
62          var factory = repository.Compile();
63
64          //Create a working session
65          var session = factory.CreateSession();
66
67          //Load domain model
```

Enfin, nous demandons au moteur de démarrer le cycle de correspondance / résolution / action.

3.5. Le cycle du SE LPNIUL

Prenons un exemple simple d'une atteinte motrice au niveau du muscle DELTOIDE

```
//inserer le fait examen DELTOIDE
session.Insert(new Examen("DELTOIDE", "Positif", "MOTRICE", "Muscle"));

//demarrer le cycle
session.Fire();
```

D'abord, le moteur d'inférence charge tous les règles

```
******************** All_Examen_Actives
******************** All_Examen_Actives_All_Portion_Non_Traite
******************** All_Examen_Actives_Portion_Traite_ExistePas
******************** All_Examen_Actives_Portion_Traite_Existe
******************** All_Portions_Visites
******************** C5_P1_Fait
******************** C5 P1 new (Trajet)
******************** C5 P1 update (Trajet)
******************** C5_P2_Fait
******************** C5 P2 new (Trajet)
******************** C5 P2 update (Trajet)
******************** C5_P3_Fait
******************** C5 P3 new (Trajet)
******************** C5 P3 update (Trajet)
******************** C6 P1 Fait
******************** C6 P1 new (Trajet)
******************** C6 P1 update (Trajet)
******************** C6 P2 Fait
******************** C6 P2 new (Trajet)
******************** C6 P2 update (Trajet)
******************** C7 P1 Fait
******************** C7 P1 new (Trajet)
******************** C7 P1 update (Trajet)
******************** C8 P1 Fait
******************** C8 P1 new (Trajet)
******************** C8 P1 update (Trajet)
******************** ENMG_Courant_Traite
******************** Examen_ENMG
******************** chargement des faits
******************** Examen_Fonction
******************** Examen_Fonction_Entree_Trajet_NonTraite
******************** Examen_Negatif_Existe
******************** Examen_New
******************** Examen_Positif_Existe
******************** Initialiser_BF_Fonction
******************** Initialiser_BF_ENMG
******************** Initialiser_BF_Examen
******************** Initialiser_BF_Temp
******************** Initialiser_BF_Resultat
******************** Initialiser_BF_Portion
******************** Initialiser_BF_Signe
******************** Initialiser_BF
******************** Initialiser_BF_Trajet
******************** Examen_Supprime
```

Ensuite, le cycle choisi la règle « Exemen_Trajet » qui donne comme conséquence l'activation de l'examen et le trajet

```
********************* TPSuperieur P3 update (Trajet)
********************* Trajet_Courant_Traite
********************* Trajet_Visite_Par_Fonction_Courant_Traite
DELTOIDE : examen active = True
DELTOIDE : est visité = True , courant = True
DELTOIDE : Signe positif active = True , C5 - P3
DELTOIDE : Signe positif active = True , TPSuperieurPosterieur -
DELTOIDE : Signe positif active = True , FaisceauxPosterieur - P4
***C5 P1 new (Trajet)
---Trajet : DELTOIDE
***C5 P2 new (Trajet)
---Trajet : DELTOIDE
***C5 P3 new (Trajet)
```

Le cycle après choisi la règle « Examen_Positif_Existe » : `Si examen positif active et existe un signe positif désactive Alors active ce signe`

```
Examen_Positif_Existe.cs   Examen_Trajet.cs
SE_LPNIUM                  Examen_Positif_Existe                Define()
1  using NRules.Fluent.Dsl;
2  using System;
3
4      public  class Examen_Positif_Existe : Rule
5      {
6          public override void Define()
7          {
8              Console.WriteLine("******************* Examen_Positif_Existe ");
9
10             Signe SP = null;
11             Examen examen = null;
12
13             When()
14                 .Match<Examen>(() => examen, e=> e.type=="Positif", e=> e.active)
15                 .Match<Signe>(() => SP, sp => sp.nomSigne == examen.nom, sp => !sp.positif);
16
17             Then()
18                 .Do(ctx => SP.activeSignePositif()) //active ce signe positif
19                 .Do(ctx => SP.setExiste(true))
20                 .Do(ctx => ctx.Update(SP))
21                 .Do(ctx => Console.WriteLine("{0} : Signe positif active = {1} , {2} - {3}", SP.nomSigne, SP.positif, SP.nomSection, SP.nomPortion))
22                 ;
23         }
24     }
```

```
********************* TPSuperieur P3 update (Trajet)
********************* Trajet_Courant_Traite
********************* Trajet_Visite_Par_Fonction_Courant_Traite
DELTOIDE : examen active = True
DELTOIDE : est visité = True , courant = True
DELTOIDE : Signe positif active = True , C5 - P3
DELTOIDE : Signe positif active = True , TPSuperieurPosterieur -
DELTOIDE : Signe positif active = True , FaisceauxPosterieur - P4
***C5 P1 new (Trajet)
---Trajet : DELTOIDE
***C5 P2 new (Trajet)
---Trajet : DELTOIDE
***C5 P3 new (Trajet)
```

Le choix suivant du cycle est traité les portions du trajet visité, dans cet exemple, DELTOIDE est un trajet qui passe par 14 portions du plexus brachial, donc le système, automatiquement visite 14 règles, chaque règle correspond à une portion, prenons l'exemple de la règle « C5_P2_Visite_Trajet » : `Si un examen est active et la portion C5-P2 n'existe pas et la portion C5-P2 est visitée par le trajet en cours du`

traitement Alors incrémenter le nombre des portions traitées par ce trajet et créer le fait portion C5-P2

```
C5_P2_Visite_Trajet.cs
SE_LPNIUM                C5_P2_Visite_Trajet                Define()
1  using NRules.Fluent.Dsl;
2  using System;
3
4      public class C5_P2_Visite_Trajet : Rule
5      {
6          public override void Define()
7          {
8              Console.WriteLine("******************** C5 P2 new (Trajet)");
9              Trajet trajet = null;
10
11             When()
12             .Exists<Examen>(e => e.active)
13             .Not<Portion>(s => s.nom.Equals("P2"), s => s.nomSection.Equals("C5"))
14             .Match<Trajet>(() => trajet, t => t.courant, t => t.racine.hasC5(), t => t.racine.C5.listPortion.Contains("P2"))
15             ;
16
17             Then()
18             .Do(ctx => trajet.setNbrPortionsTraites())
19             .Do(ctx => ctx.Update(trajet))
20             .Do(ctx => Console.WriteLine("***C5 P2 new (Trajet)"))
21             .Do(ctx => Console.WriteLine("---Trajet : {0} ",trajet.nom))
22             .Do(ctx => ctx.Insert(new Portion("P2","C5", trajet.racine.C5.type, trajet.typeExamen)))
23             ;
24         }
25     }
```

```
DELTOIDE : Signe positif active = True , Faisce
***C5 P1 new (Trajet)
---Trajet : DELTOIDE
***C5 P2 new (Trajet)
---Trajet : DELTOIDE
***C5 P3 new (Trajet)
---Trajet : DELTOIDE
***C6 P1 new
---Trajet : DELTOIDE
***C6 P2 new (Trajet)
---Trajet : DELTOIDE
***FaisceauxPosterieur P1 new (Trajet)
---Trajet : DELTOIDE
***FaisceauxPosterieur P2 new (Trajet)
---Trajet : DELTOIDE
***FaisceauxPosterieur P3 new (Trajet)
---Trajet : DELTOIDE
***FaisceauxPosterieur P4 new (Trajet)
---Trajet : DELTOIDE
***NTAxillaire P1 new (Trajet)
---Trajet : DELTOIDE
***TPSuperieurPosterieur P1 new (Trajet)
---Trajet : DELTOIDE
***TPSuperieur P1 new (Trajet)
---Trajet : DELTOIDE
***TPSuperieur P2 new (Trajet)
---Trajet : DELTOIDE
***TPSuperieur P3 new (Trajet)
---Trajet : DELTOIDE
C5 - P1 : courante = True, DELETE = False
```

Ensuite, il continue vers la règle « Trajet_Courant_Traite » : `Si le trajet en cours de traitement est terminé Alors n'est plus courant.`

```
Trajet_Courant_Traite.cs   Trajet_Visite_Par_F...on_Courant_Traite.cs   All_Examen_Actives_...on_Traite_Existe.cs
SE_LPNIUM                  Trajet_Courant_Traite                        Define()

1   using NRules.Fluent.Dsl;
2   using System;
3
4       public class Trajet_Courant_Traite : Rule
5       {
6           public override void Define()
7           {
8               Console.WriteLine("******************** Trajet_Courant_Traite ");
9
10          Trajet trajet = null;
11
12          When()
13             .Not<Portion>(p => p.courante)
14              .Or(x => x
15              .Match<Trajet>(() => trajet, t => t.courant, t => t.visite, t => !t.visiteParFonction, t => (t.nbrPortions ==
                 t.nbrPortionsTraites))
16
17               .Match<Trajet>(() => trajet, t => t.courant, t => t.visiteParFonction, t => (t.nbrPortions ==
                  t.nbrPortionsTraitesParFonction))
18               )
19             ;
20              Then()
21                 .Do(ctx => trajet.setCourant(false))
22                 .Do(ctx => ctx.Update(trajet))
23                 .Do(ctx => Console.WriteLine("---trajet {0} : nbr portion traite par Trajet = {1} , nbr portion traite par
                    fonction = {2} , nbr de portions = {3}, VISITE = {4}, VISITE PAR FCT = {5}, courant = {6}", trajet.nom,
                    trajet.nbrPortionsTraites, trajet.nbrPortionsTraitesParFonction, trajet.nbrPortions, trajet.visite,
                    trajet.visiteParFonction, trajet.courant))
24                  ;
25
26          }
27      }
```

```
---Trajet : DELTOIDE
C5 - P1 : courante = False, DELETE = False
C5 - P2 : courante = False, DELETE = False
C5 - P3 : courante = False, DELETE = False
C6 - P1 : courante = False, DELETE = False
C6 - P2 : courante = False, DELETE = False
FaisceauxPosterieur - P1 : courante = False, DELETE = False
FaisceauxPosterieur - P2 : courante = False, DELETE = False
FaisceauxPosterieur - P3 : courante = False, DELETE = False
FaisceauxPosterieur - P4 : courante = False, DELETE = False
NTAxillaire - P1 : courante = False, DELETE = False
TPSuperieurPosterieur - P1 : courante = False, DELETE = False
TPSuperieur - P1 : courante = False, DELETE = False
TPSuperieur - P2 : courante = False, DELETE = False
TPSuperieur - P3 : courante = False, DELETE = False
---trajet DELTOIDE : nbr portion traite par Trajet = 14 , nbr portion traite par fonction = 0 ,
nbr de portions = 14, VISITE = True, VISITE PAR FCT = False, courant = False
*** C5 P1 set poids & liste des signes + et -
```

Après, le cycle commence à ajuster les poids d'activation et calculer les probabilités de toutes les portions. Prenons l'exemple de la portion C5-P2, la règle « C5_P2_Fait » : `Si tous les examens sont actifs et n'existe aucun trajet ou ENMG en cours du traitement et le fait C5-P2 n'est pas encore traité Alors mettre à jour le poids d'activation et les listes des signes positifs/négatifs de cette portion.`

```
C5_P2_Fait.cs
SE_LPNIUM                    C5_P2_Fait                    Define()
1   using NRules.Fluent.Dsl;
2   using System;
3   using System.Collections.Generic;
4
5       public class C5_P2_Fait : Rule
6       {
7           public override void Define()
8           {
9               Console.WriteLine("******************** C5_P2_Fait");
10              Portion portion = null;
11              IEnumerable<Signe> SPAll = null, SNAll = null;
12          When()
13                  .All<Examen>(e => e.active)
14                  .Not<Trajet>(t => t.courant).Not<Trajet>(t => t.visiteParFonction)
15                  .All<Trajet>(t => t.visite, t => (t.nbrPortions == t.nbrPortionsTraites))
16                  .Not<ENMG>(t => t.courant)
17                  .All<ENMG>(t => t.visite, t => (t.nbrPortions == t.nbrPortionsTraites))
18                  .All<Fonction>(e => e.visite, e => (e.nbrTrajetTraite == e.nbrTrajet))
19                  .Not<Temp>().Not<HistoriqueSupp>()
20                  .Match<Portion>(() => portion, p => p.nom == "P2" , p => p.nomSection == "C5", p => !p.traite)
21
22              .Query(() => SPAll, x => x
23                  .Match<Signe>(sp => sp.nomSection == "C5", sp => sp.nomPortion != "P1")
24                  .Collect()
25                  )
26              .Query(() => SNAll, x => x
27                  .Match<Signe>(sn => sn.nomSection == "C5", sn => sn.nomPortion != "P2", sn => sn.nomPortion != "P3")
28                  .Collect()
29                  );
30          Then()
31                  .Do(ctx => Console.WriteLine("*** C5 P2 set poids & liste des signes + et -"))
32                  .Do(ctx => portion.setListSignesNegatifs((SNAll)))
33                  .Do(ctx => portion.setListSignesPositifsEtPoidsActivation((SPAll)))
34                  .Do(ctx =>portion.setTraite(true))
35                  .Do(ctx => ctx.Update(portion));
36          }
37      }
```

```
*** C5 P1 set poids & liste des signes + et -
*** C5 P2 set poids & liste des signes + et -
*** C5 P3 set poids & liste des signes + et -
*** C6 P1 set poids & liste des signes + et -
*** C6 P2 set poids & liste des signes + et -
*** FaisceauxPosterieur P1 set poids & liste des signes + et -
*** FaisceauxPosterieur P2 set poids & liste des signes + et -
*** FaisceauxPosterieur P3 set poids & liste des signes + et -
*** FaisceauxPosterieur P4 set poids & liste des signes + et -
*** NTAxillaire P1 set poids & liste signes + et -
*** TPSuperieurPosterieur P1 set poids & liste des signes + et -
*** TPSuperieur P1 set poids & liste des signes + et -
*** TPSuperieur P2 set poids & liste des signes + et -
*** TPSuperieur P3 set poids & liste des signes + et -
Touts les examens sont actives,les poids de toutes les portion sont calcule , Temp est insere
C5 - P1 traite= False, nbr d'activation = 0.1, poids d'activation = 0.1 ,PROBA = 8, DELETE= Fals
```

L'étape suivante du cycle est de calculer la probabilité de chaque portion, la règle « All_Examen_Actives_Portion_Traite_Existe » : `Si la portion est traitée Alors on calcul sa probabilité.`

All_Examen_Actives_...on_Traite_Existe.cs

SE_LPNIUM | All_Examen_Actives_Portion_Traite_Existe | Define()

```
1   using NRules.Fluent.Dsl;
2   using System;
3   using System.Collections.Generic;
4   using System.Linq;
5
6       public class All_Examen_Actives_Portion_Traite_Existe : Rule
7       {
8           public override void Define()
9           {
10              Console.WriteLine("******************** All_Examen_Actives_Portion_Traite_Existe ");
11          Portion portion = null;
12          IEnumerable<Portion> portions = null;
13          float sum=0, sum2 = 0;
14          When()
15              .Exists<Temp>()
16              .Match<Portion>(() => portion, p => p.traite)
17              .Query(() => portions, x => x
18                  .Match<Portion>( p => !p.delete)
19                  .Collect())
20              .Let(() => sum, () => portions.Sum(x => x.poidsActivation))
21
22              .Query(() => portions, x => x
23                  .Match<Portion>(p => !p.delete)
24                  .Collect())
25              .Let(() => sum2, () => portions.Sum(x => x.probabilite));
26          Then()
27                  .Do(ctx => portion.setProba(sum))
28                  .Do(ctx => portion.setTraite(false))
29                  .Do(ctx => ctx.Update(portion))
30                  .Do(ctx => Console.WriteLine("{0} - {1} traite= {2}, nbr d'activation = {3}, poids d'activation = {4} ,PROBA
                      = {5}, DELETE= {6}", portion.nomSection, portion.nom, portion.traite , portion.nombreActivation,
                     portion.poidsActivation, portion.probabilite * 100, portion.delete));
31          }
32      }
```

```
C5 - P1 traite= False, nbr d'activation = 0,1, poids d'activation = 0,1 ,PROBA = 8, DELETE= False
C5 - P2 traite= False, nbr d'activation = 0,1, poids d'activation = 0,1 ,PROBA = 8, DELETE= False
C5 - P3 traite= False, nbr d'activation = 0,1, poids d'activation = 0,1 ,PROBA = 8, DELETE= False
C6 - P1 traite= False, nbr d'activation = 0,05, poids d'activation = 0,025 ,PROBA = 2, DELETE= False
C6 - P2 traite= False, nbr d'activation = 0,05, poids d'activation = 0,025 ,PROBA = 2, DELETE= False
FaisceauxPosterieur - P1 traite= False, nbr d'activation = 0,1, poids d'activation = 0,1 ,PROBA = 8, DELETE= False
FaisceauxPosterieur - P2 traite= False, nbr d'activation = 0,1, poids d'activation = 0,1 ,PROBA = 8, DELETE= False
FaisceauxPosterieur - P3 traite= False, nbr d'activation = 0,1, poids d'activation = 0,1 ,PROBA = 8, DELETE= False
FaisceauxPosterieur - P4 traite= False, nbr d'activation = 0,1, poids d'activation = 0,1 ,PROBA = 8, DELETE= False
NTAxillaire - P1 traite= False, nbr d'activation = 0,1, poids d'activation = 0,1 ,PROBA = 8, DELETE= False
TPSuperieurPosterieur - P1 traite= False, nbr d'activation = 0,1, poids d'activation = 0,1 ,PROBA = 8, DELETE= False
TPSuperieur - P1 traite= False, nbr d'activation = 0,1, poids d'activation = 0,1 ,PROBA = 8, DELETE= False
TPSuperieur - P2 traite= False, nbr d'activation = 0,1, poids d'activation = 0,1 ,PROBA = 8, DELETE= False
TPSuperieur - P3 traite= False, nbr d'activation = 0,1, poids d'activation = 0,1 ,PROBA = 8, DELETE= False
||| PRET POUR UN NOUVEAU EXAMEN :D |||
|||| POIDS D ACTIVATION TOTAL = 1,25 ||||
|||| PROBABILITE TOTALE = 1 ||||
```

Chapitre 4 :Réalisation

1. Logo et acronyme

LPNIUL est un acronyme anglais: Localizer of Peripheral Nerve Injury in the Upper Limb. L'acronyme anglais étant plus adapté dans sa prononciation que les acronymes français proposés initialement : AM ADOMS : Application Mobile d'Aide au Diagnostic topographique d'Origine périphérique du Membre Supérieur (Il manque de deux mots clés : Topographie et périphérique), le deuxième : TOPOMS : TOPO pour TOPOgraphie et MS pour Membre Supérieur et bien d'autres. L'acronyme anglais contient tous les mots clés (Localisation - Lésion nerveuse – Périphérique – Membre supérieur) et donne un caractère universel [6].

Le logo de l'application a était créé de façon méticuleuse, pour cela dans cette version, nous avons décidé de le garder, il contient au centre le dessin de la moitié antérieure d'un cerveau humain indiquant son thème de neurologie, l'infos bulle est utilisée classiquement pour indiquer la localisation ou le lieu et sa couleur rouge évoque la nature lésionnelle de la localisation, deux bras levés en haut représentent le membre supérieur, il contiennent une ligne courbée jaune (Couleur universelle des nerfs dans les schémas anatomiques) signant le système nerveux périphérique : Localisation lésionnelle au niveau du système nerveux périphérique du membre supérieur.

Figure. 27 : logo LPNIUL

2. Interfaces et rubriques

L'application contient trois scènes, la première est l'interface du chargement (Figure. 28), la deuxième est l'accueil (Figure. 29) et la dernière contient la vidéo démonstrative.

2.1. Interface du chargement

Commençons-nous par la scène du chargement. Dans les versions précédentes, le neurologue doit attendre le chargement de l'interface d'accueil sans aucune marque. Des fois, il pense qu'il y a un problème technique en attendant l'affichage de l'accueil, qui peut prendre de 13 à 50 secondes dans cette version, dû au chargement des différents composants de la scène et l'initialisation du système expert. Pour cela nous avons créé une interface du chargement qui contient le logo de l'application et une barre qui affiche l'état du chargement de l'interface d'accueil.

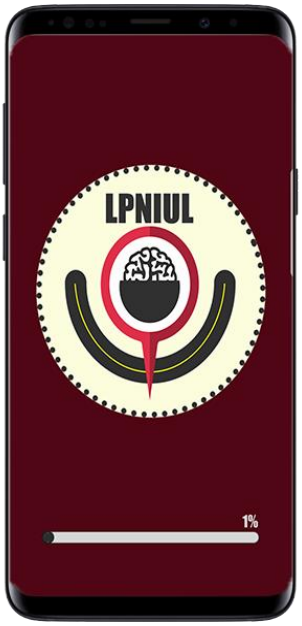


Figure. 28 : Interface de chargement

2.2. Interface d'accueil

L'interface d'accueil peut être étudiée en trois parties :

- Supérieure : Contenant deux icones, Quitter et Informations.
- Moyenne : Contenant le logo et l'acronyme de l'application et les 04 rubriques et éléments du déficit neurologique. Ces 04 rubriques sont : l'atteinte motrice clinique, l'atteinte sensitive, l'atteinte des ROT, et l'atteinte ENMG.
- Inférieure : Contenant la barre des tâches.

Figure. 29 : Interface d'accueil

2.2.1. Quitter et informations

La première fois à utiliser l'application **?** Ou bien vous avez des questions à propos les différentes fonctionnalités de notre application **?** En cliquant sur l'icône « **?** », la fenêtre (Figure. 31) s'ouvre avec 4 choix :

- **Démo :** Une autre scène se charge pour montrer une vidéo démonstrative sur les différentes fonctionnalités de LPNIUL.
- **Plexus Brachial** (Figure. 32)
- **Abréviations** : Une liste des acronymes utilisés dans l'application.

- **A propos** (Figure. 30)**.**

Figure. 30 : A propos

Figure. 31 : Plus d'informations

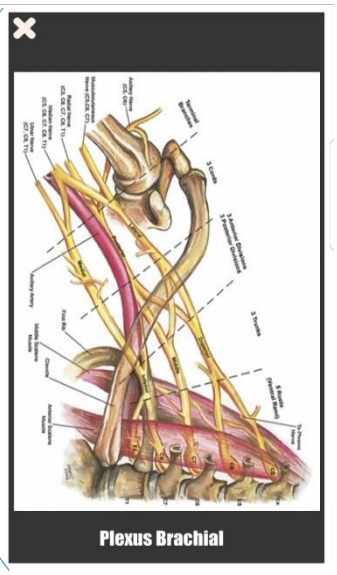


Figure. 32 : schéma du plexus brachial

2.2.2. 04 rubriques pour insérer un examen

Ces 04 rubriques sont : l'atteinte motrice clinique, l'atteinte sensitive, l'atteinte des ROT, et l'atteinte ENMG.

- **L'atteinte motrice clinique :** Contient deux sous rubriques
  - Muscle : Contenant une liste des 53 muscles du membre supérieur, se charge dynamiquement de la base des faits, organisés selon les 04 portions. Une barre de défilement est rajoutée à la liste avec une flèche pour naviguer entre ces portions.

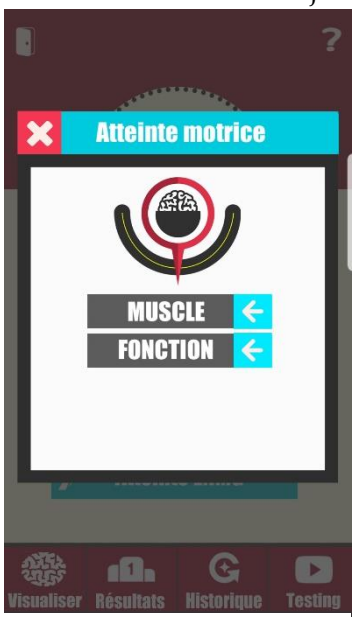


Figure. 35 : Atteinte motrice

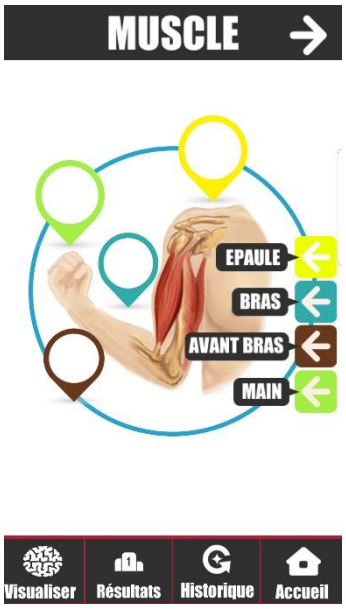


Figure. 34 : Atteinte motrice Muscle

Figure. 33 : Atteinte motrice liste des muscles de l'épaule

- Fonction : Contenant une liste de toutes les fonctions motrices organisées selon les articulations du membre supérieur.

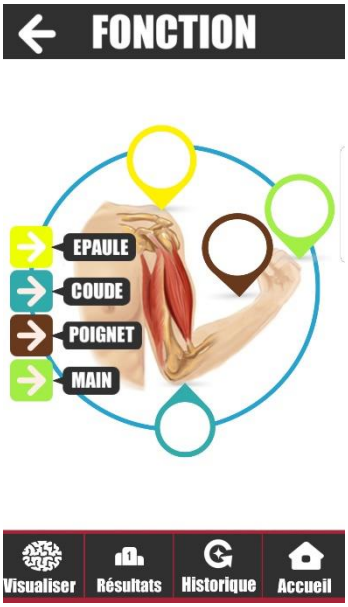


Figure. 37 : Atteinte motrice Fonction

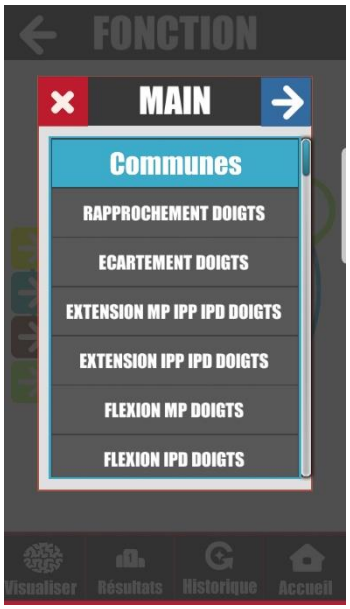


Figure. 36 : Atteinte motrice liste des fonctions de la main

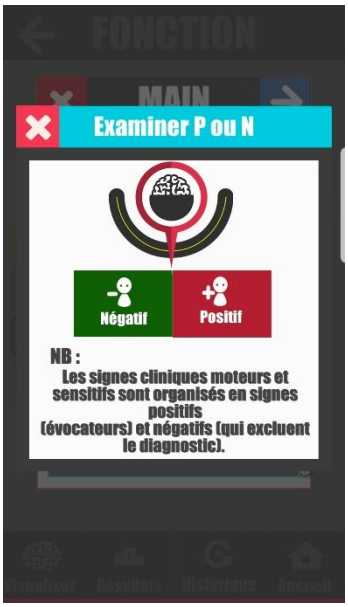


Figure. 38 : Insérer l'examen +/-

Le neurologue a le choix, dans l'insertion de tous les examens, de choisir si l'examen est positif ou bien négatif. Donc la fenêtre (Figure. 38) s'ouvre toujours avant l'insertion d'un examen.

- **L'atteinte sensitive :** Dans les deux faces, l'innervation du membre supérieur est schématisé d'une manière simple, au lieu d'utiliser des labels pour sélectionner les muscles, nous avons discrétisé les deux faces et donc les rendre cliquables avec la possibilité de zoomer les petits territoires.

Figure. 41 : Atteinte Sensitive

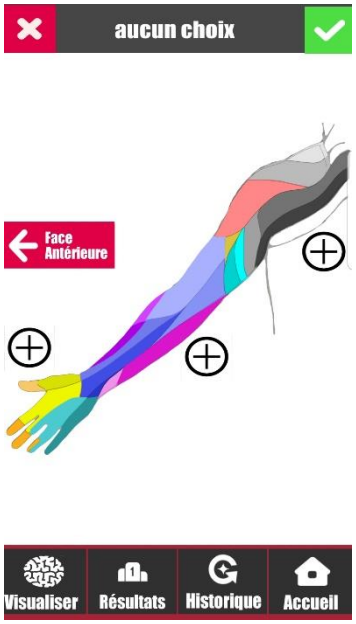


Figure. 40 : Face Antérieure du bras

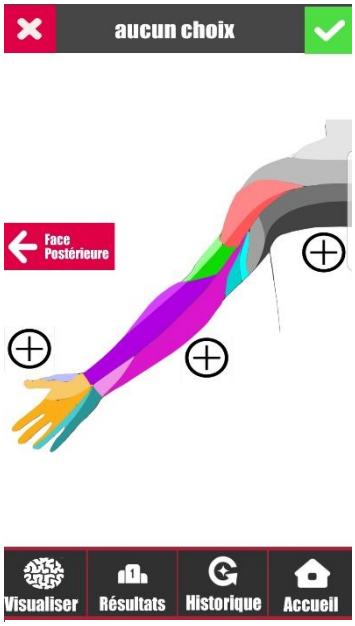


Figure. 39 : Face Postérieure du bras

Un 1er click sur le territoire, la partie cliquée clignote vers le noir, un 2ème click sur le même territoire annule sa sélection, on peut sélectionner plusieurs territoires.

En haut de la fenêtre : atteinte sensitive, on trouve la barre d'infos qui affiche le territoire sélectionné, exemple : **Cutané Latéral Supérieur du Bras C5 [Ajouté].**

On retrouve à l'entête de la fenêtre deux boutons : Vert pour confirmer la sélection et le bouton rouge pour fermer la fenêtre de l'atteinte sensitive.

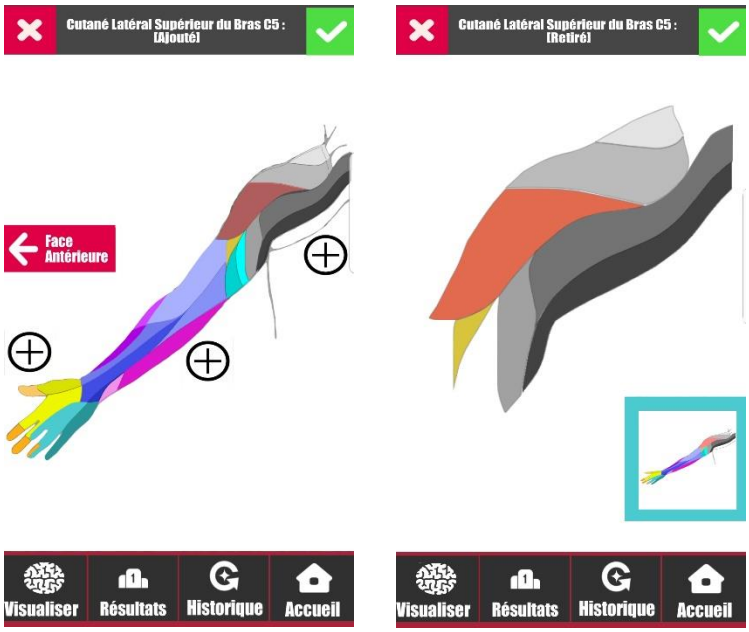


Figure. 42 : Zoom des territoires sensitifs

- **L'atteinte ENMG :** ENMG contient 3 rubriques : Moteur (EMG ou Conduction motrice), Sensitif et Reflexes.

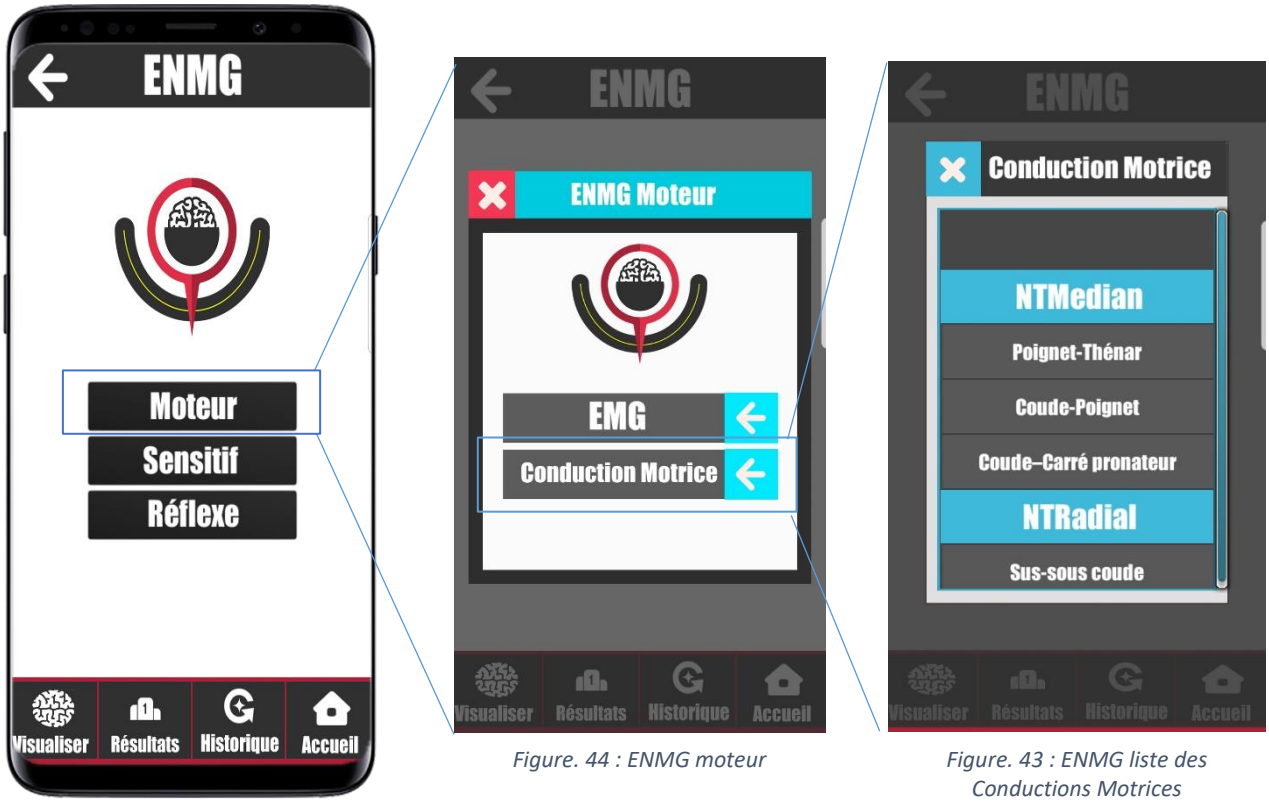


Figure. 45 : ENMG

Figure. 44 : ENMG moteur

Figure. 43 : ENMG liste des Conductions Motrices

- **ROT :** Une liste de 4 examens ROT, BICIPITAL, CUBITO PRONATEUR, STYLORADIAL et TRICIPTAL.

2.2.3. La Barre des Fonctionnalités

Cette barre s'affiche dans tous les fenêtres de l'application, sauf la fonctionnalité « Accueil » remplace « Testing » quand on n'est pas sur l'interface d'accueil. Elle contient quatre rubriques :

Figure. 46 : Barre de Fonctionnalités

- **Visualiser le plexus brachial :**

Permet d'afficher le plexus brachial contenant les trajets nerveux des différents éléments du déficit neurologique sélectionnés par l'utilisateur. Cette rubrique affiche ainsi la topographie lésionnelle de l'examen sur un schéma du plexus brachial. Dans LPNIUL, on distingue entre 04 catégories des trajets nerveux :

- **Le Trajet Nerveux Propre Principal (TNPP)** : Trajet nerveux propre d'un muscle partant de la racine principale (dominante) au nerf terminal ou collatéral correspondants, il est visualisé en jaune.
- **Le Trajet Nerveux Propre Accessoire (TNPA)** : Trajet nerveux propre d'un muscle partant de la racine accessoire (non dominante) au nerf terminal ou collatéral correspondants, il est visualisé en magenta.
- **Le Trajet Nerveux Commun Accessoire (TNCA)** : Trajet nerveux commun accessoire (non dominant) pour l'examen réalisé, il est visualisé en bleu cyan.
- **Le Trajet Nerveux Commun Principal (TNCP)** : Trajet nerveux commun principal (dominant) pour l'examen réalisé (incluant toutes les atteintes : motrice clinique, sensitive, des ROT et EMG), il est visualisé en rouge.

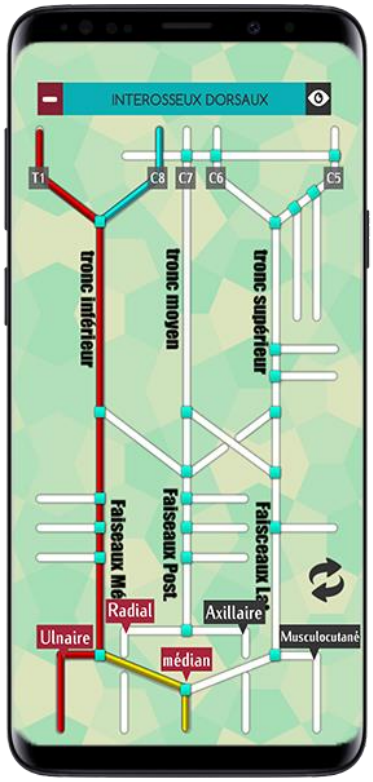


Figure. 47 : Maquette du Plexus brachial

Analysons-nous cette figure (Figure. 47) en haut nous avons le nom de l'examen à tracer, à droite l'icône Œil pour visualiser le dernier examen tout seul, à gauche le bouton pour supprimer le dernier examen.

Nous avons ajouté les nerfs Ulnaire, Radial et Médan.

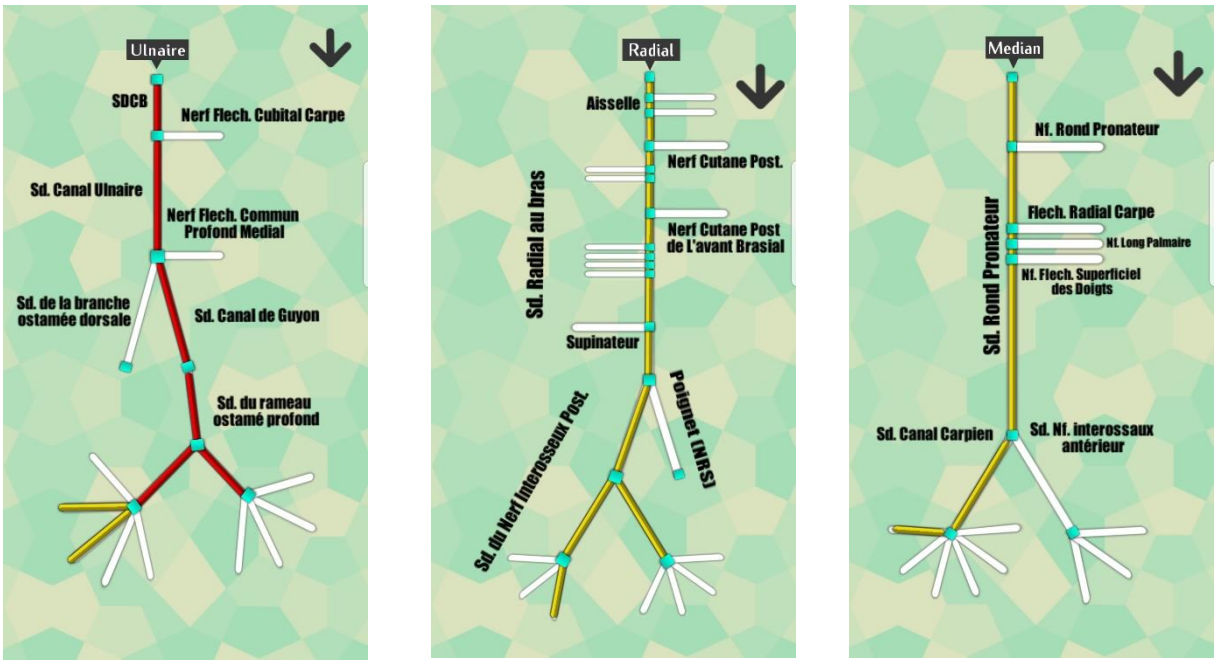


Figure. 48 : Maquette des Nerfs terminaux Ulnaire, Radial et Médian

- **Résultats**

Les Résultats sont affichés en ordre décroissante selon la somme des probabilités des portions de chaque section. Nous affichons seulement les trois premiers, avec la possibilité d'afficher tous en cliquant sur le bouton Plus. En cliquant sur le premier résultat, la partie correspondante clignote dans la maquette du plexus, En cliquant sur la flèche, la section se développe en portions, où chaque portion contient des signes positifs et négatifs regroupé en 04 types : Atteinte Motrice, Sensitif, ROT et ENMG. Ces signes sont affichés selon l'importance.

Figure. 49 : Résultats, Visualiser et lister les signes +/- de chaque section

- **Historique**

Tous les examens insérés peuvent être consultés. Le neurologue a la possibilité de supprimer ou visualiser un examen tout seul.

La fonctionnalité « Réinitialiser » est introduite en bas de la fenêtre.

- **Testing**

L'application dans ces versions précédentes contient déjà la fonctionnalité « **Testing EMG et Clinique** » (Figure. 50). Pour notre version nous avons corrigé des problèmes au niveau d'ergonomie.

Figure. 51 : Historique

Figure. 50 : Testing

L'application est livrée en plusieurs plateformes : Android, IOS, Windows, Mac,Linux etc.

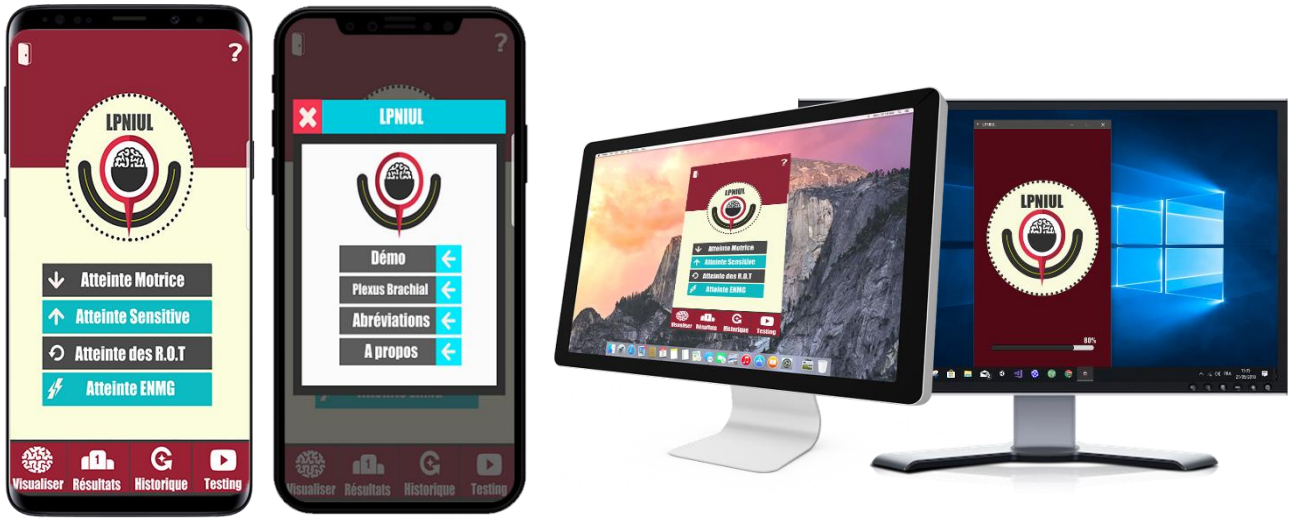


Figure. 52 : Livrable multiplateforme

Conclusion générale

LPNIUL est le fruit d'une collaboration entre le laboratoire LSIA, le service de neurologie au CHU Hassan II. Pour LPNIUL v3, nous avons gardé comme objectif principal celui des anciennes versions : la conception d'un système capable de prendre des décisions cliniques liées au diagnostic topographique d'une atteinte neurologique d'origine périphérique. Ce qui est réalisé en développant un système expert qui détecte le siège de la lésion d'une façon intelligente. Pour le coté ergonomique, nous avons amélioré l'application en répondant aux remarques citées dans le cahier des charges, en rajoutant les maquettes des autres parties du plexus brachial, la fonctionnalité historique, la suppression des examens insérés, prendre en compte les signes positif et négatifs, rendre l'application dynamique d'où la possibilité de rajouter d'autres plexus, etc.

La réalisation du système expert a permis une meilleure connaissance du siège de la lésion, Les résultats sont logiques et très encourageants. Car le système prend en considération tout le plexus brachial et donne la possibilité d'examiner plusieurs résultats où on peut exclure des propositions, et pour chaque résultats une liste de suggestions s'affiche pour orienter le neurologue et l'aider pour prendre la décision correcte.

Nous avons trouvé des problèmes lors du développement dû à l'utilisation pour la première fois l'environnement du développement Unity3D, ainsi la compréhension du code des versions précédentes, la difficulté de regrouper les données et construire la base des faits, aussi pour la première fois l'utilisation de l'outil NRules et la construction d'un système expert et puis l'intégrer à notre projet, etc.

Nous nous engageons de continuer le développement du notre système expert LPNIUL en rajoutant d'autre règles et contraintes pour le stabiliser et l'améliorer.

Nous visons à continuer la conception du plexus somatique et donc rajouter le plexus cervical, le plexus lumbalis et le plexus sacral.

Nous proposons d'intégrer des démarches thérapeutiques, et d'ajouter des scenarios pour les neuropathies les plus fréquentes pour aider les étudiants d'apprendre comment se fait le diagnostic topographique. Pour le côté du développement, nous nous engageons d'abandonner carrément le Framework NGUI afin d'optimiser l'application et l'accélérer.

Ce stage a été d'un très grand bénéfice aussi bien au niveau technique qu'au niveau professionnel. En effet, nous avons pu acquérir plusieurs connaissances relatives aux développements dans l'environnement UNITY3D, ainsi que la conception et la modélisation d'un système expert.

Webographie

[1] «Informations sur le système nerveux humain,» [En ligne]. Available: http://www.corps.dufouraubin.com/nerveux/nerveux.htm. [Accès le Mars 2018].

[2] «Les nerfs et le corps cellulaires de neurones dans le SNP,» [En ligne]. Available: http://www.lecoeurdelavie.fr/2016/11/le-systeme-nerveux-peripherique.html.

[3] «Présentation du système nerveux périphérique,» [En ligne]. Available: https://www.msdmanuals.com/fr/. [Accès le Mars 2018].

[4] «Troubles du plexus,» [En ligne]. Available: https://www.msdmanuals.com/fr/.

[5] «Anatomie du plexus brachial,» [En ligne]. Available: https://www.plexusbrachial.com/anatomie-du-plexus-brachial/. [Accès le Mars 2018].

[6] El hassani Younes, «Système d'aide au diagnostic topographique de l'atteinte neurogene périphérique du membre supérieur,» Fès, 2016.

[7] «Neuropathie,» [En ligne]. Available: http://www.doctissimo.fr/html/sante/encyclopedie/sa_1074_neuropathies_peri.htm#les-souffrances-des-plexus-nerveux. [Accès le Mars 2018].

[8] El hassani Abdelhamid, «Aide au diagnostic topographique d'un déficit neurologique d'origine périphérique du membre supérieur,» Fès, 2015.

[9] «About Unity3D,» [En ligne]. Available: https://unity3d.com/fr/unity. [Accès le avril 2018].

[10] «About NGUI,» [En ligne]. Available: http://www.tasharen.com/?page_id=140.. [Accès le Mars 2018].

[11] Microsoft, «About C#,» [En ligne]. Available: https://fr.wikipedia.org/wiki/C_sharp. [Accès le Mars 2018].

[12] Microsoft, «About VS,» [En ligne]. Available: https://fr.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Visual_Studio. [Accès le Avril 2018].

[13] «About NRules,» [En ligne]. Available: https://github.com/NRules/NRules/wiki. [Accès le Avril 2018].

[14] S. Systems, «About Enterprise Architect,» [En ligne]. Available: https://fr.wikipedia.org/wiki/Enterprise_Architect. [Accès le Avril 2018].

[15] A. Systems, «About Adobe Photoshop,» [En ligne]. Available: https://fr.wikipedia.org/wiki/Adobe_Photoshop. [Accès le Avril 2018].

[16] F. Kadri, «Contribution à la conception d'un système d'aide à la décision pour la gestion de situations de tension au seindes systèmes hospitaliers. Application à un service d'urgence.,» Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 2014.

[17] «Les systèmes d'aide à la décision médicale,» [En ligne]. Available: https://www.cairn.info/revue-les-cahiers-du-numerique-2001-2-page-125.html. [Accès le May 2018].

[18] J. B. B. Séroussi, «Systèmes informatiques d'aide à la décision enmédecine : panorama des approches utilisant les donnéeset les connaissances,» [En ligne]. Available: https://hal.sorbonne-universite.fr/hal-01100249/document. [Accès le May 2018].

[19] [En ligne]. Available: http://www.corps.dufouraubin.com/nerveux/nerveux.htm. [Accès le Février 2018].

[20] [En ligne]. Available: https://www.news-medical.net/health/What-is-the-Nervous-System-(French).aspx.

[21] [En ligne]. Available: http://campus.neurochirurgie.fr/spip.php?article162.

Application multiplateforme basée sur un système expert pour la détection des lésions du système nerveux

Résumé

L'affection du système nerveux périphérique ou la neuropathie périphérique, est une maladie neurologique assez fréquente, elle présente une difficulté de la prise en charge diagnostique. Le neurologue ne trouve pas un outil d'aide qui va lui permettre de se prononcer aussi facilement, rapidement et précisément sur la topographie lésionnelle.

LPNIUL dans ses deux premières versions a présenté un modèle computationnel qui propose une nouvelle approche combinant à la fois la neuroscience et l'informatique médicale, pour aider le praticien à se prononcer facilement sur la neuropathie périphérique.

Ce travail vise à développer une version intelligente et améliorée de LPNIUL, tout en gardant l'objectif principal des anciennes versions. LPNIUL v3 couvre tout le plexus brachial et offre tous les types des examens cliniques et Electro-Neuro-Myo-Grammes.

La solution technique adoptée est le système expert, une solution de l'Intelligence Artificielle reposant sur la séparation entre la partie programmation, le système de contrôle qui simule le raisonnement du neurologue et la partie base de connaissances contenant l'expertise. La réalisation de ce système a permis une meilleure connaissance du siège de la lésion, les résultats sont logiques et très encourageants.

Mots clés: système expert d'aide à la décision médicale, neuroscience computationnelle, application multiplateforme, système nerveux, neuropathie périphérique.

Multiplatform application based on an expert system for the detection of nervous system lesions

Abstract

The peripheral nervous system disease or the peripheral neuropathy, is a quite frequent neurological disease, it presents a difficulty during diagnosis. The neurologist cannot find a support tool, which allows him to pronounce as easily, quickly and precisely on the lesion topography.

LPNIUL in its two previous versions presented a computational model proposes a new approach combining both neuroscience and medical computer science, to help the practitioner to pronounce easily on the peripheral neuropathy.

This project aims to develop an intelligent and improved version of LPNIUL, whilst keeping the main purpose of the previous versions. LPNIUL v3 covers the whole brachial plexus and offers all types of clinical examinations as well as the Electro-Neuro-Myo-Grams.

The technical solution adopted is the expert system, a solution of Artificial Intelligence based on the separation between the programming part, the control system that simulates the neurologist's reasoning and the knowledge base part containing the expertise.

The building of this system led to a better knowledge of the seat of the lesion, the results are logical and very encouraging.

Key words: expert system of medical decision support, computational neuroscience, multiplatform application, nervous system, peripheral neuropathy.