

UNIVERSITÉ DE YAOUNDÉ I

\*\*\*\*

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE  
POLYTECHNIQUE DE YAOUNDE

\*\*\*\*

DÉPARTEMENT DE GÉNIE  
INFORMATIQUE

\*\*\*\*

UNIVERSITY OF YAOUNDE I

\*\*\*\*

NATIONAL ADVANCED SCHOOL OF  
ENGINEERING OF YAOUNDE

\*\*\*\*

DEPARTMENT OF COMPUTER  
ENGINEERING

\*\*\*\*



## Projet de système tutoriel intelligent

THÈME :

---

---

### Modélisation d'un STI pour l'apprentissage de la pose de diagnostic médical

---

---

Présenté par :

HARA ZANG Ulrich  
MOUNAH Césaire  
NDEMA Isaac  
NGAGOM Chebil  
TALLA James

Sous la supervision de :

**Dr Bernabé BATCHAKUI**

GI 2022  
26 février 2022

# Résumé

En 2014, l'OMS estimait à 8000, le nombre de décès par an au Cameroun, suite à des erreurs médicales, erreurs qui sont encore plus accentuées avec le manque d'expérience de nos jeunes médecins fraîchement sortis de l'école, qui cherchent de l'expérience, mais qui souvent l'acquièrent en faisant au passage des dégâts souvent irréversibles. Parmi l'expérience à acquérir par ces jeunes médecins, on retrouve la pose de diagnostic, qui est un exercice assez complexe qui combine des bagages à la fois de savoir et de savoir-faire. Ce document propose une modélisation d'un STI qui pourra être pour les étudiants médecins et jeunes médecins, un cadre d'expérimentation à la pose de diagnostic. Le décor a été posé en présentant les concepts généraux et une revue de la littérature au sujet des STI et du diagnostic médical. Puis, une architecture globale d'un STI a été décrite. Il y aura un modèle apprenant qui nous permettra de décrire et de suivre la trace de l'évolution de l'apprentissage de l'apprenant, son niveau, ses lacunes, ses idées fausses; un modèle tuteur qui permet de décrire notre stratégie pédagogique : l'entraînement; un modèle expert qui décrit une représentation des connaissances à transmettre à l'apprenant notamment l'identification de la maladie ( sous forme de relation "si tels symptômes, alors telle maladie") et la procédure de pose de diagnostic ( en utilisant une base de faits et de règles et les réseaux bayésiens pour l'inférence); un patient virtuel, modélisé comme un agent émotif et réactif, pour simuler une maladie et répondre aux questions posées par l'apprenant; et, enfin l'interface utilisateur par lequel l'apprenant passera pour interagir avec notre STI. La conception de l'interface utilisateur a suivi la méthodologie de la conception centrée sur utilisateur présentée dans la norme ISO 13407. Il y a donc eu une analyse permettant identification et la caractérisation de la population cible et son environnement; puis, une conception permettant la spécification des exigences des utilisateurs. Ensuite, les outils, les algorithmes et les interfaces qui seront utilisés pour l'implémentation de chaque composant du STI ont été présentés. A ce propos, dans le module tuteur, JESS sera utilisé pour implémenter la base de règles. La base de cas du module Expert sera enregistrée dans une base de données NoSQL, MongoDB en occurrence. Le réseau bayésien sera mis en place avec l'outil pyArgum. L'interface utilisateur a été prototypée sur l'approche High Fidelity avec l'outil Figma.

**Mots clés :** systèmes tutoriels intelligents, pose de diagnostic.

# Table des matières

RÉSUMÉ	i
LISTE DES FIGURES	iii
LISTE DES TABLEAUX	iv
ABRÉVIATIONS	v
<b>I INTRODUCTION</b>	<b>2</b>
1.1 Contexte et problématique . . . . .	2
1.2 Objectif . . . . .	2
1.3 Plan du rapport . . . . .	3
<b>2 CONCEPTS GÉNÉRAUX ET ÉTAT DE L'ART</b>	<b>4</b>
2.1 Le diagnostic médicale . . . . .	4
2.1.1 Présentation générale . . . . .	4
2.1.2 Les types de diagnostic médical . . . . .	4
2.1.3 Les étapes d'un diagnostic médical . . . . .	5
2.1.4 Les challenges . . . . .	6
2.2 Les systèmes tutoriels intelligents . . . . .	7
2.2.1 Historique et définition . . . . .	7
2.2.2 Les composantes d'un STI . . . . .	7
2.3 Quelques systèmes tutoriels dans le domaines du diagnostic médical . . . . .	15
2.3.1 Revue de la littérature sur la mise en place des STIs pour l'apprentissage de la pose du diagnostic médical . . . . .	15
2.3.2 Medical Exam Tutor . . . . .	16
2.3.3 Notre apport . . . . .	18
<b>3 CONCEPTION ET ARCHITECTURE</b>	<b>19</b>
3.1 Composantes . . . . .	19
3.1.1 Modèle Apprenant . . . . .	19
3.1.2 Modèle Tuteur . . . . .	25
3.1.3 Modèle Expert . . . . .	26
3.1.4 Patient virtuel . . . . .	28
3.1.5 Interface utilisateur . . . . .	30
3.2 Architecture fonctionnelle . . . . .	34
3.2.1 Architecture interne . . . . .	34
3.2.2 Cycle de fonctionnement . . . . .	35
<b>4 IMPLÉMENTATION</b>	<b>37</b>
4.1 Expert . . . . .	37

4.2	Tuteur . . . . .	38
4.3	Modèle apprenant . . . . .	38
4.4	Interface Utilisateur : prototypage . . . . .	39
4.4.1	Outils Utilisés pour le prototypage . . . . .	39
4.4.2	Quelques interfaces réalisées . . . . .	39
5	DISCUSSION	44
5.1	Points forts . . . . .	44
5.2	Limites . . . . .	44
5.3	Perspectives . . . . .	44
6	CONCLUSION	45
	REFERENCES	46

# Table des figures

2.1	Architecture générale d'un STI . . . . .	8
2.2	Diagramme comparatif de méthodes de modélisation de l'expert . . . . .	9
2.3	Les variantes du modèle : pris dans [1] . . . . .	11
2.4	Choix d'un cas . . . . .	16
2.5	Informations d'un patient . . . . .	17
2.6	Paramètres d'un patient . . . . .	17
2.7	Examen d'un patient . . . . .	18
3.1	Représentation des connaissances de l'apprenant (modèle overlay) : pris dans [1] . . . . .	20
3.2	Modèle de l'apprenant . . . . .	21
3.3	L'architecture du modèle de l'apprenant . . . . .	21
3.4	Exemple de réseau bayésien . . . . .	24
3.5	Modèle tuteur dans notre STI . . . . .	26
3.6	Modèle expert dans notre STI . . . . .	27
3.7	Transformation des cas en réseau bayésien . . . . .	28
3.8	Module Patient Virtuel . . . . .	29
3.9	Diagramme de Contexte . . . . .	30
3.10	Diagramme des cas d'utilisation vus par l'utilisateur . . . . .	32
3.11	Moyens de communication apprenant-patient virtuel . . . . .	34
3.12	Architecture interne de notre Système . . . . .	35
3.13	Workflow du Système . . . . .	36
4.1	Diagramme de déploiement du module expert . . . . .	38
4.2	Interface pour la création de compte . . . . .	40
4.3	Interface de Connexion . . . . .	41
4.4	Interface du tableau de bord à la 1ère connexion . . . . .	42
4.5	Interface du tableau de bord . . . . .	42
4.6	Interface de l'échange entre l'apprenant et le patient virtuel . . . . .	43

# Liste des tableaux

3.1	Description textuelle de "Lancer un exercice de diagnostic" . . . . .	32
3.2	Description textuelle de "Demander au patient d'effectuer un examen" . . . . .	33
3.3	Description textuelle de "Soumettre un diagnostic au tuteur" . . . . .	33

# Abréviations

<b>API</b> .....	Interface de Programmation d'Applications
<b>Hi-Fi</b> .....	High Fidelity
<b>JESS</b> .....	Java Expert System Shell
<b>KP</b> .....	Knowledge of performance
<b>KH</b> .....	Knowledge on how to proceed
<b>MOOCs</b> .....	Massive Open Online Courses
<b>STI</b> .....	Système Tutoriel Intelligent
<b>IRM</b> .....	Magnetic resonance imaging
<b>UML</b> .....	Unified Modeling Language

# 1

## Introduction

### 1.1 CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE

En 2014, l'OMS estimait à 8000, le nombre de décès par an au Cameroun, suite à des erreurs médicales. Ceci dû à plusieurs causes, notamment une mauvaise communication, un transfert partiel des informations en cas de référence, des problèmes humains, de mauvaises politiques de santé, un transfert des connaissances pas assez important etc ... Par ailleurs nos jeunes médecins fraîchement sortis de l'école qui s'en vont dans les différentes structures sanitaires afin d'exercer, manque cruellement d'expérience et donc, sont plus enclin à faire des erreurs médicales. Ils acquièrent effectivement de l'expérience via ce processus, mais en faisant au passage des dégâts souvent irréversibles.

De cette situation ce dégage donc un problème fondamental, comment transmettre, efficacement, de l'expérience aux jeunes médecins? Et plus spécifiquement sur la pose de diagnostic?

### 1.2 OBJECTIF

Pour répondre à ce problème nous nous proposons de mettre sur pied un Système Tutoriel Intelligent (STI) pour l'apprentissage de la pose du diagnostic médical aux jeunes médecins. Il s'agit là, d'une solution idéale, car les STIs sont dotés d'environnements permettant d'offrir un apprentissage individualisé, adaptatif et de qualité pour nos jeunes médecins. Pour atteindre cet objectif, nous nous proposons de :

- Concevoir une architecture du système basé sur l'architecture classique des STIs.
- Éliciter des connaissances brutes exprimées par les experts (il s'agit entre autre d'identifier et de faire ressortir les concepts importants du domaine et les relations significatives entre ces concepts).
- Construire un modèle opérationnel des concepts et des relations identifiés à l'étape précédente (il s'agit de la formalisation des connaissances).
- Construire un modèle de représentation des connaissances et des performances de l'apprenant (le jeune médecin) comprenant des outils de diagnostic, ayant pour objectif d'identifier les erreurs et les fausses idées et offrant des mécanismes pour aider à les corriger.
- Établir des règles tutorielles basées sur les stratégies de tutorat dont l'efficacité a été prouvée et dont l'application est très répandue dans les environnements d'apprentissage.



### 1.3 PLAN DU RAPPORT

Ce rapport de projet contient cinq grandes parties :

La première partie est celle de l'introduction avec comme sous-sections le contexte et la problématique, l'objectif et le plan du mémoire comme dernier point.

La deuxième partie est celle de l'état de l'art. Ici nous présentons toutes les informations existantes concernant le domaine des STI dans la médecine. Pour cela nous avons procédé en trois étapes, la première partie on définit ce qu'on appelle diagnostic médicale, ensuite on présente l'historique et on définit les systèmes tutoriels intelligents et enfin on présente ses différents composantes.

La troisième partie est celle de la présentation de la modélisation et de l'architecture, ici nous présentons les différentes composantes du système et ensuite présentons l'architecture fonctionnelle du système.

La quatrième partie est celle de l'implémentation. Ici il s'agissait pour nous de présenter les techniques, langages et les outils utilisés pour mettre en oeuvre notre système.

La dernière partie quant à elle concerne les discussions, nous présentons les points forts, les limites et les perspectives de notre solution.

# 2

## Concepts généraux et État de l'art

### 2.1 LE DIAGNOSTIC MÉDICALE

#### 2.1.1 PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Le diagnostic médical est défini comme étant le processus permettant de déterminer de quelle maladie ou dysfonctionnement souffre un patient à partir des symptômes et des signes cliniques que ce dernier manifeste. Il vient du grec *gnosis* qui signifie "Connaissance". Dans la littérature, on parle de **diagnostic** tout simplement, avec le contexte médical étant implicite. C'est la méthode par laquelle les professionnels de la santé identifient une maladie comme étant la cause la plus probable de symptômes donnés, l'objectif étant la prise en charge la plus adaptée du patient.

#### 2.1.2 LES TYPES DE DIAGNOSTIC MÉDICAL

Il existe plusieurs méthodes de diagnostic médical. Toutes ces méthodes s'appuient en général sur ces deux composants :

- Le recueil des données. Il s'agit de prendre en compte toutes les données nécessaires à l'établissement d'un diagnostic. Il s'agit notamment des antécédents, des signes et symptômes exprimés par le patient, des paramètres, des examens médicaux.
- L'analyse des données recueillies.

Plusieurs méthodes et techniques sont employées dans une procédure de diagnostic médical :

##### 2.1.2.1 LE DIAGNOSTIC DIFFÉRENTIEL

Cette méthode est basée sur la recherche des différentes maladies possibles à la cause des symptômes exprimés par le patient, suivi par une phase d'élimination à partir des différents tests médicaux et autres données additionnelles. L'objectif est de déterminer à la fin la maladie la plus probable. Cette méthode est souvent appliquée avec l'aide de système automatiques d'aide au diagnostic.

En général, des tests de confirmation sont utilisés après l'identification de la maladie la plus probable, comme les tests d'imagerie médicale, pour confirmer le diagnostic.

#### 2.1.2.2 LA RECONNAISSANCE DE PATTERN

Dans cette méthode, le consultant se base sur son expérience pour reconnaître un pattern de caractéristiques cliniques. Elle est principalement basée sur le fait que certains signes et symptômes peuvent être directement associés à certaines maladies, sans nécessairement mettre en jeu un processus cognitif plus poussé comme dans le diagnostic différentiel.

Cela peut être la principale méthode utilisée dans les cas où les maladies sont "évidentes", ou l'expérience du consultant peut lui permettre de reconnaître rapidement la maladie. Théoriquement, un certain schéma de signes ou de symptômes peut être directement associé à une certaine thérapie, même sans décision définitive concernant la nature de la maladie, mais un tel compromis comporte un risque substantiel de manquer un diagnostic qui a en fait une thérapie différente, de sorte qu'il peut être limité aux cas où aucun diagnostic ne peut être posé.

#### 2.1.3 LES ÉTAPES D'UN DIAGNOSTIC MÉDICAL

Que ce soit par reconnaissance de pattern ou par diagnostic différentiel, le médecin suit toujours 03 étapes pour établir un diagnostic :

##### 2.1.3.1 L'ANAMNÈSE

La première chose qu'un médecin fait lorsqu'il reçoit un patient c'est d'interroger ce dernier. On appelle cela **l'anamnèse**. Après avoir posé des questions génériques au patient comme son âge, le médecin pose des questions **dans un ordre précis**, des questions larges aux questions plus précises :

- Quelles sont vos habitudes de vie ?
- Quels sont vos antécédents médicaux ?
- Depuis combien de temps avez-vous mal à la tête ?
- etc.

##### 2.1.3.2 L'EXAMEN PHYSIQUE

Après l'anamnèse, le médecin procède à plusieurs examens physiques qui se déroulent en 04 étapes :

**L'inspection** : Le médecin vous observe

**La palpation** : Le médecin touche et palpe certaines parties du corps

**La percussion** : Le médecin recherche des bruits anormaux, par exemple en tapant l'arrière du dos

**L'auscultation** : Le médecin écoute certains organes internes (cœur, poumons, etc) à l'aide d'un stéthoscope.

##### 2.1.3.3 LES EXAMENS COMPLÉMENTAIRES

Si c'est nécessaire, le médecin peut demander des examens complémentaires. Un médecin spécialisé pourra par exemple vous faire, ou prescrire une échographie, ou alors un scanner, une radio, une IRM, une biopsie ou un bilan sanguin...

Ces examens ont pour but de répondre à une **hypothèse diagnostique**. Chaque examen peut servir à confirmer ou infirmer une question que se pose le médecin, et peut même dans certains cas donner plus d'informations au médecin pour qu'il considère des possibilités auxquelles il n'avait pas pensé en amont.

#### 2.1.4 LES CHALLENGES

La médecine fait face à de nombreuses difficultés. Un diagnostic parfois difficile à poser car il faut souvent prendre du temps avant de trouver le diagnostic sur un ensemble de symptômes. Cela est tout à fait concevable car le nombre de symptômes est bien inférieur au nombre de maladies existantes : il existe entre 200 et 300 symptômes, pour plus de 10 000 maladies. Il peut aussi arriver que certains patients n'arrivent tout simplement pas à exprimer leurs symptômes pour de multiples raisons (expression orale, ressenti faussé, peur d'être jugé, ...), ou alors ils omettent tout simplement certains symptômes car jugent qu'ils ne sont pas importants.

Les médecins ont donc une **obligation de moyens** mais pas de **résultat**. Un diagnostic n'est donc pas certain et même les examens ne permettent pas d'avoir toutes les informations sur le corps humain. Parfois, il n'est pas possible de poser un diagnostic en dépit des examens réalisés car ces derniers peuvent ne pas répondre aux questions que se pose un médecin. Les symptômes persistent sans que l'on réussisse à identifier la cause. On dit alors que le patient est une *errance diagnostique*.

Toutes ces raisons contribuent au fait que la pose de diagnostic médical est un exercice complexe à réaliser, et demande de la part du médecin des connaissances poussées, une bonne capacité de raisonnement et une très bonne intuition.

## 2.2 LES SYSTÈMES TUTORIELS INTELLIGENTS

### 2.2.1 HISTORIQUE ET DÉFINITION

Après l'avènement des ordinateurs, les progrès technologiques qui ont suivi, ont considérablement augmenté la puissance de calcul de ces derniers. Le gain en performance des ordinateurs a engendré la naissances de nouveaux domaines de recherche parmi lesquels celui qui aujourd'hui suscite le plus d'engouement, à des impacts importants et est l'un des plus prometteurs : l'intelligence artificielle. Dès le début des années 1960, les ordinateurs ont été utilisés à des fins éducatives variées. De même, la formation assistée par ordinateur a rapidement gagné le domaine de l'éducation et le marché de la formation. Dès le début des années 1970, des objectifs ambitieux dans la recherche sur la formation assistée par ordinateur on conduit au développement des premiers systèmes tutoriels intelligents qui ont été obtenus en appliquant les techniques d'intelligence artificielle pour implémenter un modèle pédagogique basé sur un tuteur humain dans une formation assistée par ordinateur. Le système tutoriel intelligent remplirait à ce moment la fonction d'engager l'apprenant dans une activité de raisonnement soutenu en interagissant avec lui sur la base d'une compréhension profonde de son comportement. Le développement des STIs s'est poursuivi depuis jusqu'aux versions de systèmes complexes offrant des formations adaptatives et de qualité que nous retrouvons aujourd'hui.

Un système tutoriel intelligent (STI) peut être défini comme un environnement d'apprentissage informatisé qui intègre des modèles computationnels empruntés aux sciences cognitives, à la linguistique computationnelle, aux sciences de l'éducation, à l'intelligence artificielle, aux mathématiques ainsi qu'à d'autres domaines. Un STI est capable de traquer le comportement de l'apprenant à l'aide d'un processus appelé modélisation de l'apprenant. Le modèle de l'apprenant peut comprendre ses connaissances sur le sujet d'apprentissage, ses compétences, sa stratégie d'apprentissage, son degré de motivation, ses émotions et d'autres attributs que l'on peut évaluer. Le STI utilise les informations de ce modèle pour interagir avec l'apprenant de manière adaptative. Les STIs ont fait leurs preuves avec le temps et se sont montrés très efficaces notamment dans les domaines des mathématiques, des sciences et des technologies. Ils représentent un support d'apprentissage ayant un impact nettement plus important que l'environnement des salles de classes et peuvent captiver l'attention et l'intérêt de l'apprenant pendant des heures.

### 2.2.2 LES COMPOSANTES D'UN STI

L'architecture de base d'un système tutoriel intelligent est constituée de quatre composantes : le module expert, le module tuteur, le module apprenant et l'interface utilisateur. La figure Figure 2.1 inspirée de [1] présente l'architecture générale d'un système tutoriel intelligent (STI).

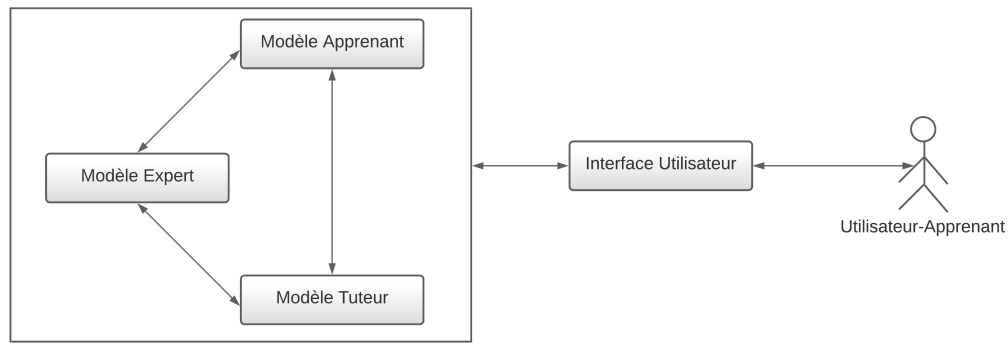


Figure 2.1 – Architecture générale d'un STI

#### 2.2.2.1 LE MODULE EXPERT OU MODULE DU DOMAINE

C'est dans cette composante que sont encodées les connaissances et les mécanismes de résolution de problème du domaine sur lequel porte l'apprentissage. Le module expert d'un STI est assimilable à un expert humain du domaine et doit être capable d'appliquer un raisonnement sur les connaissances encodées, et il doit pouvoir expliquer comment il résout un problème.

L'expert est la source des connaissances à transmettre à l'apprenant. Il fournit par ailleurs au système une norme pour évaluer la performance de l'apprenant détecter ses erreurs ou ses idées fausses.

De part son importance dans le système, son implémentation constitue le plus souvent 50% des efforts de développement et nécessite de suivre de manière systématique une méthodologie d'ingénierie des connaissances pour garantir la fiabilité et la robustesse du système.

Il existe plusieurs formalismes de représentation des connaissances dans le module expert :

- Système de production de règles
- Réseaux sémantiques
- Représentation procédurale
- Représentation basée sur les objets structurés (les *frames*) \*

Selon ces différents formalismes, il existe trois approches de modélisation de l'expert du domaine :

**L'approche "Boîte Noire"** : Appliquer une quelconque méthode de raisonnement sur le domaine.

L'expert fournit les mécanismes de résolution des problèmes et les normes pour évaluer l'apprenant, mais ne fournit aucune explication sur les démarches suivies pour la résolution des problèmes.

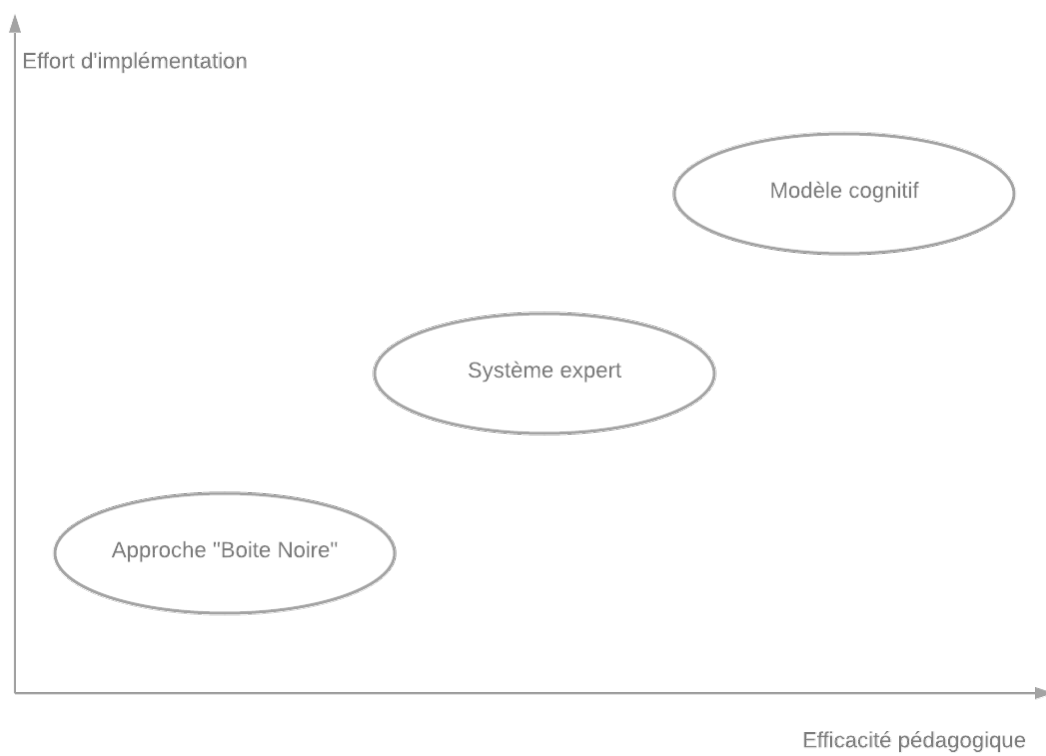
**Système expert** : L'expert peut au besoin expliquer les démarches de résolution de problèmes. Cette approche offre une représentation articulée des connaissances à la base de l'expertise.

**Modèle cognitif** : L'expert simule la manière dont l'humain utilise ses connaissances pour résoudre les problèmes.

D'après le diagramme comparatif de la Figure 2.2 <sup>†</sup>, l'approche de modélisation du module expert qui démontre la plus grande efficacité pédagogique est le modèle cognitif. Ce modèle nécessite un grand effort d'intégration et constitue le modèle qui se rapproche le plus de l'intelligence humaine.

\*. Paquette, 1999

†. Nkambou et al., 2010



**Figure 2.2** - Diagramme comparatif de méthodes de modélisation de l'expert

#### 2.2.2.2 LE MODULE TUTEUR

Le module tuteur est la composante du STI qui implémente les stratégies pédagogiques propres au domaine cible de l'apprentissage. Il interagit avec le module expert et le module apprenant pour choisir et planifier les activités présentées à l'apprenant tout en lui fournissant, le cas échéant, des explications adaptées. Le tuteur décide de quand et comment intervenir selon la stratégie la plus appropriée et en fonction du résultat du diagnostic de l'apprenant (état cognitif, état émotionnel, niveau d'expertise, connaissances, compétences, forces et faiblesses, etc ...). Il a le choix entre plusieurs stratégies possibles :

- Entraînement (Coaching). Le tuteur offre des conseils à l'apprenant et le guide lorsqu'il s'éloigne de la solution.
- Apprentissage socratique. Le tuteur propose des exercices mettant en pratique les éléments du domaine pour amener l'apprenant à identifier les règles de niveau supérieur et les concepts. L'approche vise à faire révéler à l'apprenant ce qu'il possédait déjà sans en être conscient. Ce dernier examine les données immédiates de sa conscience de façon à répondre à des questions qui la sollicitent et cherche à agir adéquatement à partir de cette conscience éveillée.
- Apprentissage exploratoire. Le tuteur laisse l'apprenant explorer librement le problème et n'intervient qu'à la demande de ce dernier.
- Apprentissage par perturbation.
- Apprentissage par auto-explication.
- Apprentissage par la pratique. Le tuteur fait quelques démonstrations de résolution de problème étape par étape, avant de demander à l'apprenant d'effectuer la procédure par lui-même.
- Apprentissage par problème. Le tuteur choisit des problèmes qui répondent aux lacunes de l'apprenant.
- Etc.

Le tuteur s'appuie à chaque fois sur des approches éducatives appropriées pour prendre sa décision. Il supervise l'apprentissage pendant toute la durée de l'activité. Chaque fois que l'apprenant effectue une action ou fournit la réponse à un problème, le tuteur consulte l'expert pour évaluer sa réponse, lui fournit le feedback approprié selon le contexte et met à jour son modèle (modèle de l'apprenant). Le rôle important que joue le feedback du tuteur dans le processus d'apprentissage a été prouvé et un cadre formel d'élaboration des bonnes stratégies de feedback [2] a été établi pour maximiser le gain d'apprentissage chez l'apprenant.

#### 2.2.2.3 LE MODULE APPRENANT

##### A. LES APPROCHES DE MODÉLISATION DE L'APPRENANT

Parmi les techniques de modélisation connues, nous pouvons citer :

**Modèle de Recouvrement** La première approche consiste à construire le modèle de l'apprenant de façon comparative. Les performances de celui-ci sont comparées à un modèle idéal qui représente les connaissances d'un expert de la matière enseignée. Carr et Goldstein (1977) appellent cette technique : la méthode de recouvrement des connaissances de l'étudiant « Overlay Model ». Le modèle de l'apprenant est alors considéré comme un sous-ensemble du modèle idéal. Les connaissances de l'apprenant sont alors considérées comme formant un sous-ensemble des connaissances de l'expert. Le modèle de l'apprenant est alors mis à jour en le comparant au modèle de l'expert. Chaque fois que le modèle de l'apprenant diffère du modèle de celui de l'expert du domaine, le système identifie une erreur ou une idée fausse de l'apprenant. La figure 3.1 présente les deux variantes du modèle superposition ( Overlay).



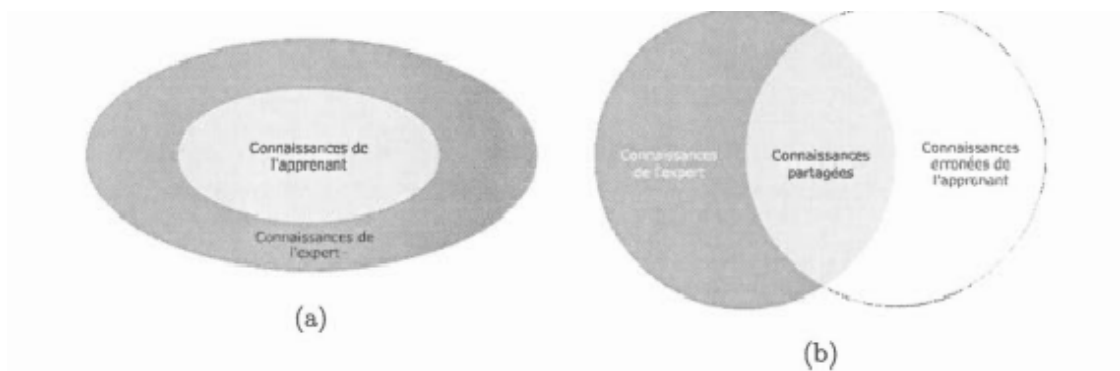


Figure 2.3 – Les variantes du modèle : pris dans [1]

- une variante dans laquelle les connaissances de l'apprenant sont entièrement incluses dans celles de l'expert (a),
- une variante dans laquelle sont stockées les informations sur les conceptions erronées de l'apprenant (b).

La deuxième variante permet une meilleure planification des interventions du système dans le processus d'apprentissage.

**Modèle Correctionnel** D'autres STI représentent non seulement les concepts manquants, mais également certaines incompréhensions de l'étudiant à l'aide d'une librairie d'erreurs. Ce type de modèle est appelé modèle correctionnel. Dans ce cas, le modèle de l'apprenant n'est pas un sous-ensemble du modèle idéal, mais plutôt un ensemble de règles qui représentent les connaissances (correctes et incorrectes) du domaine. Ainsi, les conceptions erronées de l'apprenant deviennent une variante de ces règles. Du même coup, le cheminement du raisonnement de l'apprenant est modélisé par des règles de production qui prennent en compte les conceptions erronées.

**Modèle de Reconstruction** Quelques STI se sont également intéressés à la détection des erreurs en utilisant une méthodologie basée sur la reconstruction des erreurs plutôt qu'à partir d'une liste d'erreurs prédéfinie dans une librairie. Dans ce cas, le module de diagnostic utilise deux librairies : une librairie de prédicats et une librairie d'actions. Dans la théorie de réparation, les erreurs sont générées en altérant un groupe de règles adéquates pour créer une situation où aucune règle ne s'applique. L'impasse. Une réparation est une action qui consiste à contourner une impasse.

**L'approche de Goldstein (Graphe génétique) :** Goldstein (1982) introduit l'idée de modélisation des connaissances de l'apprenant par l'intermédiaire d'un graphe génétique représentant les relations d'analogie, de généralisation-spécialisation, de raffinement-simplification et de déviation-correction. Le graphe génétique [Goldstein, 1982] offre une représentation des connaissances procédurales. Les règles d'une procédure sont représentées comme des nœuds, et les liens représentent les relations entre les règles. Ces liens peuvent être de plusieurs types (généralisation/spécialisation, analogie, raffinement).

## B. COMPOSANTS DU MODÈLE DE L'APPRENANT

Le modèle de l'apprenant est une représentation dans le STI de l'état de l'apprenant (cognitif, affectif, psychologique, etc.) établi suivant un processus qui s'apparente au diagnostic médical. Ce module est consulté périodiquement par le tuteur et l'expert pour déterminer l'aspect de la formation. Il est constitué généralement de trois sous-modèles :

- modèle affectif

- modèle cognitif
- modèle inférentiel

**Le modèle affectif :** ce modèle est un ensemble de données permettant de cerner la personnalité et les différentes facettes d'un étudiant. Il contient des connaissances relatives aux caractéristiques particulières permanentes ou momentanées de l'apprenant. parmi celles-ci, nous avons :

- les connaissances relatives aux conditions mentales. par exemple l'apprenant est spatial ou verbal, il est réfléchi ou impulsif, etc.;
- les connaissances relatives aux sentiments et à la personnalité. par exemple l'apprenant est calme ou anxieux. il est attentif ou distrait. etc.

Ces informations varient avec le contexte et sont utilisées par le système pour adapter les interactions avec l'apprenant (sélection et séquençement du contenu à présenter, choix du mode de communication, choix de l'approche pédagogique, etc.).

**Le modèle inférentiel :** permet au système de faire un diagnostic de l'état de l'apprenant servant à déterminer les causes des erreurs afin de les corriger. Le diagnostic de l'état de l'apprenant peut se faire suivant deux approches :

- Le « Model Tracing » . Le système crée et analyse la trace des activités de l'apprenant. Cette approche nécessite une bonne modélisation du processus de résolution de problèmes dans le système.
- Le « Knowledge Tracing » . Le système analyse un épisode d'apprentissage afin d'identifier les connaissances qui ont été utilisées par l'apprenant. Cette approche ne nécessite pas une modélisation complexe du processus de résolution .

**Le modèle cognitif :** cette partie contient des informations sur l'état des connaissances de l'apprenant par rapport à la matière considérée. Ces informations portent sur :

- **les capacités :** l'information sur les capacités traduit le niveau de l'étudiant par rapport aux connaissances. Robert M. Gagne (1976) a classifié les capacités apprises en cinq catégories : les informations verbales, les habiletés intellectuelles, les attitudes, les habiletés motrices et les stratégies cognitives.
- **les objectifs :** l'information sur les objectifs traduit le fait que l'étudiant a déjà réalisé ou non un objectif. Par exemple, l'étudiant en médecine a acquis le savoir faire d'une technique de repérage de la plaque dentaire.
- **les ressources :** l'information sur les ressources (exercices, problèmes. tests. simulations, démonstration, etc.) traduit le fait qu'une ressource a déjà été utilisée par un apprenant, et le contexte dans lequel cette ressource a été utilisée.
- **et éventuellement les relations :** l'information sur les relations traduit le fait que l'étudiant a réussi ou pas à établir une relation (par exemple : de type analogie, abstraction, cas particulier, etc.) entre deux connaissances (et donc, la connaissance d'une relation entre deux connaissances est aussi une connaissance (méta-connaissance)).

### C. MÉTHODES DE RECONNAISSANCE DES ÉMOTIONS

On distingue principalement quatre méthodes de reconnaissance des émotions dans les STI, à savoir : l'auto-évaluation, les juges externes, les variables d'interaction et les senseurs physiques.[3]

**L'auto-évaluation** Dans les techniques d'auto-évaluation (« self-report »), l'apprenant doit indiquer lui-même ses émotions pendant son interaction avec le système. Des questionnaires à choix multiples et des échelles de mesure peuvent être utilisés pour restreindre le choix de réponses de l'apprenant. L'auto-évaluation est une méthode rapide à administrer et facile à implanter dans les STI, mais elle

présente plusieurs inconvénients. En effet, cette approche directe perturbe la dynamique de la session d'apprentissage, car elle nécessite d'interrompre fréquemment l'apprenant pour l'interroger sur ses émotions, afin d'avoir une mise à jour régulière de son état. L'auto-évaluation peut donc détériorer la qualité de l'interaction et le rendement de l'apprenant.

**Les juges externes** Cette méthode a recours à des observateurs humains experts (enseignants, pédagogues ou psychologues), qui doivent suivre le déroulement de la séance d'apprentissage, évaluer, et annoter l'état émotionnel de l'apprenant. Cette évaluation peut se faire en même temps, pendant l'interaction, ou à posteriori en visionnant l'enregistrement vidéo de la session. Cette méthode est cependant très et reste difficile à mettre en œuvre étant donnée la nécessité de faire mobiliser des ressources humaines supplémentaires.

**Les variables d'interaction** Différentes variables de l'interaction entre l'apprenant et le système tutoriel peuvent être utilisées pour la détection des émotions. Ces variables incluent notamment : le temps passé sur les activités, les fréquences d'utilisation des boutons d'aide ou les performances de l'apprenant (capacité de mémorisation, scores obtenus dans des tests ou des exercices, temps de réponse, etc.). Par exemple, Beck (2005) et de Vicente et al. (2002), utilisent le temps de réponse et le nombre d'erreurs commises pour évaluer le niveau d'attention de l'apprenant. Baker et al. (2004, 2006) analysent les fréquences de clics sur les boutons d'aide et le temps passé sur les activités pour détecter un comportement spécifique où l'apprenant tente de déjouer le système (« gaming the system »), en essayant de profiter des régularités de l'interface pour passer rapidement au travers du curriculum en faisant le minimum d'effort possible, sans vraiment être impliqué dans les activités d'apprentissage.

**Les senseurs physiques** Les senseurs physiques permettent de détecter des patrons de changements corporels associés aux émotions, en mesurant des caractéristiques observables telles que les expressions faciales, la voix, la posture ou les mouvements corporels. Avec le développement des équipements et des capteurs non-intrusifs et à faibles coûts, l'utilisation de ces senseurs est devenue de plus en plus courante dans les IHM, et plus particulièrement dans les STI.

#### 2.2.2.4 L'INTERFACE UTILISATEUR

L'interface utilisateur est la composante qui contrôle les interactions entre l'apprenant et le système. Elle sert de traducteur bilatéral entre la représentation interne du système et le langage d'interface compréhensible à l'apprenant. La conception de l'interface utilisateur est une étape très importante du processus de développement d'un STI. En effet la qualité d'une interface peut affecter positivement ou négativement la perception que l'apprenant des interactions avec le système. Étant donné que l'interface utilisateur est la forme finale sous laquelle le STI se présente à l'apprenant, les caractéristiques telles que la facilité d'utilisation et l'attrait pourraient avoir un impact décisif sur l'envie de l'apprenant d'utiliser le système ou non. Les interfaces utilisateur des STIs peuvent se présenter sous différents aspects selon le type d'apprentissage (simulation, résolution de problèmes, etc.), la nature des données échangées (commandes, voix, etc.) entre l'apprenant et le système, le domaine de l'apprentissage (pratiques sécuritaires en situation d'urgence, mathématiques, etc.), ou encore l'objectif visé par l'apprentissage (partage d'expérience, transfert de compétences, etc.).

Cependant, en dépit de l'efficacité et de l'efficience que les STI apportent au processus d'apprentissage des étudiants, la plupart des études sur les STI ont déployé moins d'efforts pour concevoir l'interface des STI afin de promouvoir l'intérêt des étudiants pour l'apprentissage, la motivation et l'engagement. [4] souligne que la conception d'interfaces graphiques pose un problème particulier dans le cadre des Systèmes Tutoriels Intelligents (STI) car une l'interface idéale est transparente. Mais comment atteindre ce

but alors qu'un étudiant doit acquérir de nouvelles connaissances à travers cette interface? Nous avons la conception centrée sur l'utilisateur. Il s'agit d'une manière de concevoir avec un souci constant de l'utilisateur en le considérant comme un système de traitement constitué de trois sous systèmes interdépendants :

- sensoriel,
- moteur et
- cognitif

Cette approche a été traduite en une norme internationale, l'ISO 13407 (Processus de conception des systèmes interactifs centrés sur l'humain) . Quelques principes sont nécessaires à la satisfaction de cette norme. Notamment :

- **Une préoccupation amont des utilisateurs**, de leurs tâches et de leur environnement
- **La participation active de ces utilisateurs**, ainsi que la compréhension claire de leurs besoins et des exigences liées à leurs tâches
- **Une répartition appropriée des fonctions** entre les utilisateurs et la technologie

## 2.3 QUELQUES SYSTÈMES TUTORIELS DANS LE DOMAINE DU DIAGNOSTIC MÉDICAL

De nombreuses recherches ont été effectuées dans la mise en place des systèmes tutoriels intelligents pour l'enseignement de la pose du diagnostic médical aux médecins apprenants. De plus, il existe même des produits commercialisés qui offrent cette fonctionnalité.

### 2.3.1 REVUE DE LA LITTÉRATURE SUR LA MISE EN PLACE DES STIs POUR L'APPRENTISSAGE DE LA POSE DU DIAGNOSTIC MÉDICAL

#### 2.3.1.1 SIMULATEUR D'UN PATIENT VIRTUEL BASÉ SUR LE TRAITEMENT AUTOMATIQUE DU LANGAGE NATUREL ET SYSTÈME TUTORIEL INTELLIGENT POUR LE PROCESSUS DE DIAGNOSTIC CLINIQUE : DÉVELOPPEMENT D'UN SIMULATEUR ET CAS D'ÉTUDE

Il s'agit d'un travail de recherche effectué par Furlan R, Gatti M, Menè R, Shiffer D, Marchiori C, Gajaj Levra A, Saturnino V, Brunetta E, Dipaola F et publié en avril 2021 dans le but de développer un système tutoriel intelligent pour l'inférence sur le diagnostic clinique qui intègre une interaction avec un patient virtuel basée sur le NLP. Un des objectifs est de proposer un système d'évaluation à court terme des médecins apprenants après l'utilisation d'un simulateur.

L'idée est d'utiliser des algorithmes de NLP en concert avec l'ontologie SNOMED (Systematized Nomenclature of Medicine) pour la génération d'hypothèse de diagnostic médical. Le STI est basé sur les concepts de connaissances, d'évaluation et de modèle apprenant. Pour évaluer l'apprentissage, 15 étudiants en médecine ont subi 2 tests identiques basés sur les QCMs avant et après l'utilisation du simulateur.

C'est ainsi qu'a été développé le système **Helpius** qui permet à l'apprenant de récolter des informations cliniques sur les antécédents du patient, les examens physiques et les interviews qui devraient leur permettre de générer un différentiel. Helpius est aussi un STI qui permet de suivre les apprenants étape par étape et de proposer des sujets d'approfondissement pour couvrir leurs lacunes.

Leurs résultats ont prouvé qu'en combinant les STI et le NLP, il est possible de fournir un outil aux médecins apprenants pour consolider leurs connaissances et leurs facultés de raisonnement dans la pose d'un diagnostic médical.

#### 2.3.1.2 SYSTÈME TUTORIEL INTELLIGENT COLLABORATIF POUR L'APPRENTISSAGE DES PROBLÈMES DU DOMAINE MÉDICAL

COMET, Collaborative intelligent tutoring system for medical problem-based learning, est un système utilisant les réseaux bayésiens pour modéliser les connaissances et l'activité de l'apprenant. Il propose une interface de type hypermédia pour permettre une communication riche avec l'apprenant. Il incorpore une base de connaissance assez élaborée dans le domaine du diagnostic des traumatismes à la tête.

L'un des plus grands défis relevés a été de mettre sur pied des algorithmes pour guider l'apprenant grâce aux indices. Pour évaluer ce système, on compare les indices générés par le système et les indices qu'un expert dans l'enseignement du diagnostic aurait pu prodiguer à l'apprenant. Les résultats prouvent que les indices donnés par COMET sont en accord avec la majorité des tuteurs humains avec une grande validation statistique : le test de McNemar donne un indice de 0.652, et celui de Kappa, 0,733.

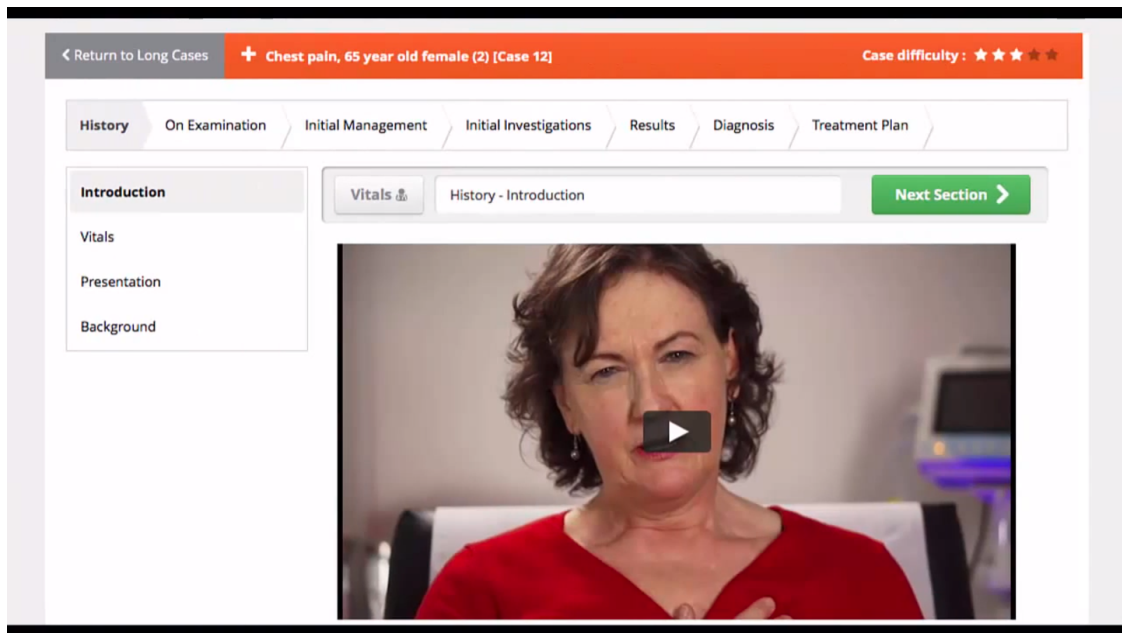


Figure 2.4 – Choix d'un cas

### 2.3.2 MEDICAL EXAM TUTOR

Medical Exam Tutor est une solution commercialisée d'enseignement des connaissances médicales. Il propose plusieurs fonctionnalités :

- Ses simulations de cas de maladie basées sur des données réelles
- Des données d'examens médicaux réalistes comme les scanners
- Des cas dans diverses spécialités médicales
- Les feedbacks instantanés lors des sessions d'apprentissage et de test

#### 2.3.2.1 CHOISIR UN CAS

Dans cette application, on ne simule pas un patient virtuel, mais on se base sur des cas réels où des patients exposent leurs symptômes, mais sans intervention de l'apprenant.

#### 2.3.2.2 CONSULTATION DES INFORMATIONS D'UN PATIENT

L'apprenant a accès aux informations d'un patient. Les figures suivantes nous montrent comment il a accès aux antécédents médicaux, aux allergies, aux paramètres et même à des scanners.

#### 2.3.2.3 LIMITES

Les limites de cette application sont directement liées aux défis de l'enseignement du diagnostic médical. Le principal problème est le manque d'interaction entre le médecin apprenant et le patient, ce qui fait qu'un apprenant n'a pas le moyen d'apprendre comment faire un diagnostic, quelle question poser à un patient pour recueillir déjà dans la phase de l'interview des informations essentielles pour poser un diagnostic probable.

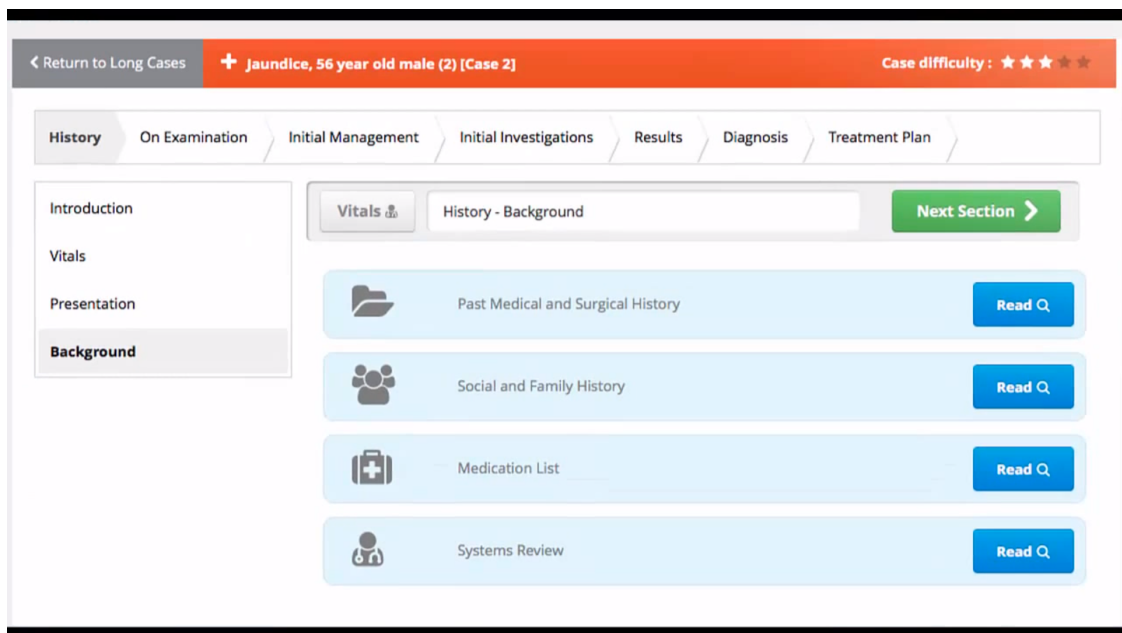


Figure 2.5 – Informations d'un patient



Figure 2.6 – Paramètres d'un patient

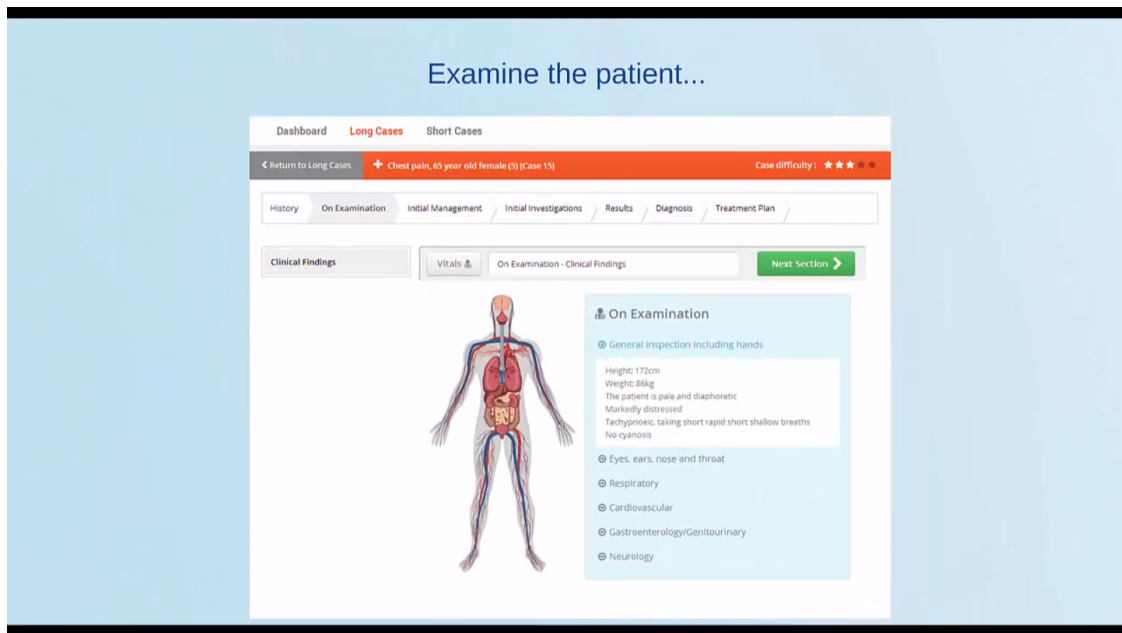


Figure 2.7 – Examen d'un patient

### 2.3.3 NOTRE APPORT

Dans ce travail, nous mettons l'accent non seulement sur l'enseignement de la capacité à établir des diagnostics fiables, mais aussi sur l'enseignement des bonnes pratiques à suivre par l'apprenant lors de la phase d'anamnèse.

Notre système s'appuie sur des cas réels choisis par des médecins experts pour établir les connaissances dans le domaine de la procédure d'anamnèse et pour la reconnaissance des maladies à partir des symptômes connus. De plus, nous fournissons des moyens pour évaluer grâce à un simulateur de patient virtuel comment un médecin apprenant s'y prends pour récolter des informations à partir d'un interview.



# 3

## Conception et Architecture

### 3.1 COMPOSANTES

Dans cette section, nous faisons une présentation détaillée des composantes de notre STI. Il s'agit des composantes de base d'un STI tels que décrits dans le Chapitre 2 : les modules tuteur, expert, apprenant et l'interface utilisateur.

#### 3.1.1 MODÈLE APPRENANT

Le modèle de l'apprenant permet de décrire et de suivre la trace de l'évolution de l'apprentissage de l'apprenant, son niveau, ses lacunes, ses idées fausses, etc. Les données du modèle de l'apprenant sont mises à jour à partir des informations obtenues suite à ses décisions et ses actions au cours d'une partie.

Dans SARAH, le modèle de l'apprenant sera, à terme, constitué des composantes suivantes :

**Le Modèle Statique :** contenant des données statiques sur l'apprenant (nom, âge, type d'apprenant, niveau scolaire, spécialité, etc.).

**Le Modèle cognitif :** cette partie contient des informations sur l'état des connaissances de l'étudiant par rapport à la matière considérée (par exemple, les problèmes qu'il a résolus, ses solutions, son niveau maîtrisé de la connaissance, etc.).

**Le Modèle des compétences** contenant les croyances du système sur les compétences de l'apprenant

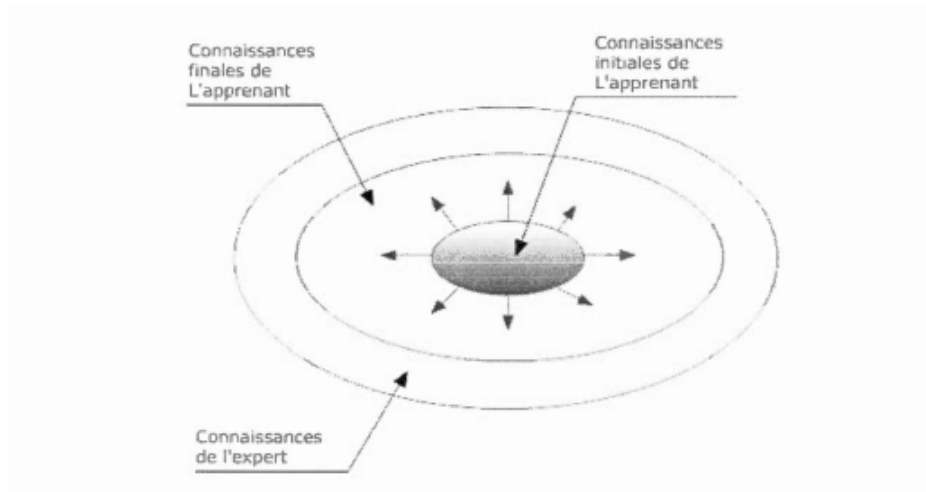
**Le Modèle Psychométrique** contenant les informations permettant d'initialiser le modèle de l'apprenant en début de partie.

**Le Modèle Psychologique** contenant les informations permettant de décrire les comportements et les processus mentaux de l'apprenant au fil des parties de jeu.

**Le Modèle Affectif :** ce modèle est un ensemble de données permettant de cerner les caractéristiques et les différentes facettes d'un étudiant. Il contient des connaissances relatives aux caractéristiques particulières permanentes ou momentanées de l'apprenant.

**Modèle d'inférences :** Pour nous, ce modèle contient les informations sur les modes d'inférences que l'apprenant applique dans son raisonnement (par exemple les modes inductif ou déductif que l'étudiant utilise dans ses résolutions de problèmes).

**Modeleur :** Le Modeleur a pour objectif de mettre à jour les connaissances de l'apprenant (gestion du modèle de l'apprenant); reconnaître ses bonnes performances; relever les connaissances erronées



**Figure 3.1** – Représentation des connaissances de l'apprenant (modèle overlay) : pris dans [1]

et suggérer des corrections. La Figure 3.2 illustre l'architecture du modèle de l'apprenant. Dans cette figure la notion « le comportement de l'apprenant » inclue ses réponses aux questions, ses actions (comme la tâche d'adaptation), et les résultats de ces actions comme les solutions obtenues, etc.

Nous avons choisi le modèle de recouvrement ( Overlay) pour la représentation des connaissances de l'apprenant dans notre système. Dans ce modèle, les connaissances de l'apprenant sont construites sur les éléments de connaissance de l'expert (ou éléments de connaissance du domaine considéré) . Dans cette approche, les compétences indiquent clairement l'habileté de l'apprenant à utiliser ses connaissances. Cette méthode s'est avérée être un choix judicieux et adapté au contexte, car toutes les compétences à acquérir sont définies de manière intrinsèque et sans ambiguïté par les connaissances du domaine. La figure 3.2 présente le modèle Overlay.



Figure 3.2 – Modèle de l'apprenant

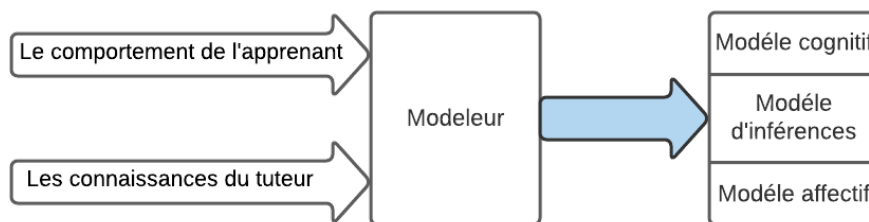


Figure 3.3 – L'architecture du modèle de l'apprenant

### 3.1.1.1 CARACTÉRISTIQUES D'UN SOUS-SYSTÈME MODÈLE DE L'APPRENANT

Nous pensons que le sous-système modeleur est celui qui contient au moins les caractéristiques suivantes :

1. la capacité de reconnaître les bonnes performances de l'apprenant (par exemple son niveau maîtrisé de la connaissance);
2. la capacité de relever les connaissances erronées;
3. la capacité de les expliquer (par exemple, informer l'apprenant s'il a choisi un cas inadéquat pour la résolution du problème donné. etc.);
4. la capacité de suggérer des corrections (par exemple montrer les relations entre le problème courant et les problèmes similaires que l'apprenant a déjà résolus, etc.);
5. La capacité de mettre à jour les connaissances de l'apprenant; il doit être capable de :
  - fixer l'ensemble des étapes à maîtriser par l'apprenant (par exemple; déterminer tous les problèmes résolus);
  - découvrir les étapes maîtrisées mais non exprimées par l'apprenant (par exemple, découvrir les relations entre un problème résolu et le cas qu'il a choisi à cette fin);

- découvrir les étapes sous-jacentes non maîtrisées (lacunes de l'apprenant; par exemple déterminer tous les problèmes non résolus).

### 3.1.1.2 MODÉLISATION DES CONNAISSANCES ET DES RAISONNEMENTS DE L'APPRENANT

Le problème est de déterminer une démarche permettant d'analyser le raisonnement de l'apprenant dans un contexte de résolution de problèmes. L'analyse du raisonnement consiste à concilier essentiellement les modèles mentaux de l'apprenant. Nous nous proposons d'établir donc, un formalisme nous permettant de reconnaître et de regrouper les actions et les solutions de ce dernier en situation de résolution de problèmes. Ce formalisme nous permet également d'analyser la solution de l'apprenant plus en profondeur pour reconnaître son raisonnement. L'interprétation des résultats obtenus (Issue de cette analyse) est une partie importante dans notre approche, puisque ces résultats sont précisément ceux qui sont recherchés et peuvent être utilisés pour modéliser les connaissances, les erreurs et les incompréhensions de l'apprenant; vérifier la cohérence de son travail et la solution qu'il propose.

#### MODES D'INTERACTION

Nous identifions deux modes d'interaction pour notre approche : AS mode (Accessible Solution mode) et US mode (Inaccessible Solution mode).

**AS mode ou *mode de solution accessible*** : Dans ce mode, la base de cas est accessible par l'apprenant. Pour chaque problème donné, l'apprenant cherche dans la base de cas ceux qui sont similaires au problème courant. Ensuite pour le cas trouvé, il effectue les processus d'adaptation afin d'atteindre la solution du problème. La façon la plus simple pour illustrer cela, est de ramener les lecteurs aux cours de calculs ou de probabilité. Devant un nouveau problème, l'étudiant feuillette son livre et ses notes de cours afin de trouver un problème semblable dont il savait déjà la solution. En répétant l'ensemble des étapes utilisées dans cette solution, l'étudiant pourrait résoudre le nouveau problème. Cinq mécanismes sont particulièrement importants dans le processus de modélisation des connaissances de l'apprenant :

1. celui qui sélectionne le problème pour l'offrir à l'apprenant;
2. celui qui permet à l'apprenant de sélectionner le cas le plus proche au problème;
3. celui qui permet à l'apprenant d'adapter la solution du cas au problème;
4. celui qui analyse la solution de l'apprenant;
5. celui qui permet la mise à jour du modèle de l'apprenant.

Pour que notre système puisse mener à bien la modélisation de l'apprenant dans ce mode, il faut qu'il ait la possibilité de contrôler les actions de ce dernier. La reconnaissance des actions de l'apprenant pendant la résolution d'un problème est donc cruciale et la représentation correcte de l'état de ses connaissances.

**US mode ou *mode de solution inaccessible*** : Dans ce mode (plus complexe), la base de cas n'est pas accessible. L'apprenant sans voir donc les solutions des cas, résoudra le problème en adaptant la (les) solution(s) d'un (ou des) cas similaire(s) qu'il a déjà résolu(s). Plus précisément, en se rappelant les étapes de la solution d'un cas similaire, ensuite en partant sur ces informations et en établissant une analogie avec la nouvelle situation, il peut résoudre ce problème. Il proposera ensuite, son raisonnement au système. Le système analysera ses réponses pour comprendre son raisonnement.

### 3.1.1.3 OUTIL DE MODÉLISATION DES DIFFÉRENTS SOUS-MODÈLES

**Modèle cognitif** En nous basant sur la littérature[5], nous avons le choix entre plusieurs méthodes de modélisation de l'apprenant dans un STI : réseaux sémantiques, banque de connaissances de l'expert, réseaux bayésiens, etc. Nous sommes orientés vers le choix d'un réseau bayésien pour modéliser les connaissances et les compétences de l'apprenant même si l'une des grandes difficultés attendues sera l'absence de banque de données que nous pouvions exploiter pour construire la structure du réseau.

**SARAH** est un système qui doit être capable d'adapter le processus d'apprentissage à chaque apprenant. Rendre possible cette adaptabilité requiert un modèle du domaine d'une part, et un modèle apprenant pour chaque joueur d'autre part, afin d'offrir un soutien personnalisé. L'un des problèmes que l'on rencontre lors de la modélisation de l'apprenant est l'incertitude dans les croyances que le système a des connaissances de l'apprenant, et les sources d'incertitude sont nombreuses. En effet un apprenant peut commettre une erreur au cours du processus de résolution d'un problème pourtant il possède les connaissances et les compétences pour réussir, ou encore parvenir à construire un schéma valide de résolution de manière tout à fait hasardeuse. Notre choix d'utiliser **les réseaux bayésiens** pour modéliser l'apprenant devient alors judicieux, puisqu'ils offrent des mécanismes permettant de gérer l'incertitude.

Un réseau bayésien est un graphe orienté dans lequel chaque nœud est annoté avec des informations quantitatives de probabilité, et dont la spécification est la suivante :

1. Chaque nœud correspond à une variable aléatoire qui peut être discrète ou continue.
2. Les paires de nœuds sont connectées par un ensemble de liens orientés. Un nœud X est dit parent d'un nœud Y s'il existe un lien orienté partant du nœud X vers le nœud Y. Le graphe décrit par le réseau bayésien est direct et acyclique (ne contient pas de cycles orientés).
3. Chaque nœud  $X_i$  possède une distribution de probabilités  $P(X_i | \text{Parents}(X_i))$  qui quantifie l'effet des parents sur le nœud. Pour les variables discrètes, cette distribution de probabilités est représentée par une table.

La construction d'un réseau bayésien se fait généralement en trois étapes :

1. Définir la structure du réseau bayésien (sa topologie).
2. Initialiser des valeurs des nœuds du réseau avec une estimation des connaissances et des compétences de l'apprenant. Cette étape influence grandement la manière dont le réseau est mis à jour pour refléter la progression de ce dernier.
3. Mettre à jour les probabilités dans le réseau bayésien en utilisant les informations tirées des interactions entre l'apprenant et le système.

La mise en œuvre de ces trois étapes peut se faire suivant trois méthodes :

- **A partir des connaissances du domaine ou des données existantes sur le domaine.** La tâche consiste à correctement identifier les objectifs de la modélisation (prédiction, explication ou exploration), identifier toutes les observations pertinentes pour le problème, déterminer lesquelles de ses observations seront représentées dans le modèle, définir à partir de ces observations, des variables ayant des états finis et mutuellement exclusifs, puis déterminer la distribution de probabilité pertinente pour le modèle.
- **En sollicitant la collaboration des experts du domaine.** Il s'agit de se fier aux experts du domaine pour accomplir les tâches listées au point précédent. Seulement, s'appuyer sur le jugement d'experts est coûteux et peut être sujet à l'erreur, car il est difficile pour un humain de se fier à son intuition pour définir des dépendances probabilités réalistes entre des concepts.

— Une combinaison des deux premières méthodes.

La modélisation de l'apprenant à l'aide d'un réseau bayésien consiste donc en un ensemble de nœuds représentant les variables associées au processus d'apprentissage (connaissance, compétence, évidence, etc.), et d'arcs représentant les relations entre ces nœuds qui peuvent être de deux types :

1. Relation entre une compétence et une unité de connaissance;
2. Relation entre une unité de connaissance et un nœud d'évidence. Les nœuds d'évidence sont ceux qu'on appelle des événements d'apprentissage et représentent les nœuds observables du réseau. Dans **SARAH** par exemple, les nœuds observables caractérisent les actions que l'apprenant peut effectuer dans l'environnement durant un exercice. La figure 4.6 donne un exemple de réseau bayésien illustrant les deux types de relations énoncés dans le paragraphe précédent.

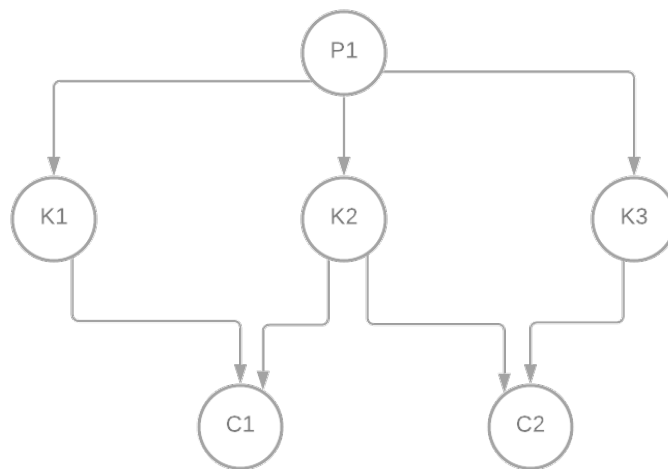


Figure 3.4 – Exemple de réseau bayésien

Les relations de causalité entre les nœuds du réseau bayésien ci-dessus peuvent être interprétées comme suit : Si le problème  $P_1$  est résolu, l'apprenant a probablement acquis les connaissances  $K_1$ ,  $K_2$  et  $K_3$ . Si les connaissances  $K_1$  et  $K_2$  ont été acquises, l'apprenant possède probablement la compétence  $C_1$ . Si les connaissances  $K_2$  et  $K_3$  ont été acquises, l'apprenant possède probablement la compétence  $C_2$ .

Considérons les nœuds suivant d'un réseau bayésien : un problème  $P$ , une connaissance et une compétence  $C$ . La relation entre deux nœuds quelconques du réseau peut être exploitée dans les deux sens :

- Le sens causal,  $(K \rightarrow P)$  ou  $(K \rightarrow C)$ ;
- Le sens du diagnostic,  $(P \rightarrow K)$  ou  $(C \rightarrow K)$ .

Ce qui conduit à l'interprétation suivante dans le cas de modélisation de la relation entre une compétence et une connaissance

- $(K \rightarrow C)$  : posséder la connaissance  $K$  indique la possibilité de posséder la compétence  $C$ ;
- $(C \rightarrow K)$  : posséder la compétence  $C$  signifie posséder la connaissance associée  $K$  (Ici, le nœud  $K$  peut être utilisé pour évaluer l'approche de résolution de l'apprenant).

**Modèle affectif** Notre objectif est d'étendre la méthode Reconnaissance des émotions existantes à travers diverses approches multimodales basées sur les capteurs physiologiques. En effet, contrai-

rement aux capteurs physiques habituels utilisé dans les STI, il évalue essentiellement les caractéristiques externes (observables) de l'apprenant (par exemple, les expressions faciales, la voix, les gestes, la posture, etc.), Les capteurs physiologiques permettent de mesurer des réponses plus spontanées, difficiles contrôlables et indépendantes de l'apparence de l'apprenant : ces réponses reflètent la dynamique interne du corps humain, qui varie selon l'état émotionnel de l'individu.[3]

Plus précisément, notre méthode intègre des variables individuelles telles que l'âge, sexe ou personnalité) a trois indicateurs physiologiques, à savoir : Réponse effets galvaniques sur la peau, la fréquence cardiaque et l'activité cérébrale. Réaction galvanique la « réponse cutanée galvanique » (GSR) de la peau est connue pour être linéairement liée le niveau d'activation (ou d'intensité) émotionnelle. cette fréquence cardiaque La "fréquence cardiaque" (FC) est largement utilisée pour comprendre fonction du système nerveux autonome (ANS); connue pour être liée à la valence affective. L'activité cérébrale est considéré comme une source majeure d'émotion. Activité cérébrale enregistrée par EEG "ElectroEncephaloGram" (électroencéphalogramme), qui peut refléter des changements neurologiques subtils liés aux niveaux d'attention, de vigilance ou de charge mentale, et peut être mesuré avec une précision et une résolution temporelle très élevées.

Nous nous intéressons tout particulièrement à la reconnaissance d'un état émotionnel très fréquemment observé lors des sessions d'apprentissage, à savoir l'état d'incertitude (ou la confusion). L'incertitude est décrite comme un état de doute ou d'hésitation qui signale que l'apprenant est confronté à certaines difficultés ou lacunes dues à un manque de connaissances ou de compréhension. Elle peut également signaler un manque de confiance en soi dans l'exécution d'une certaine tâche.

Notre apport à travers l'approche que nous proposons est double : dans un premier lieu, nous analysons les indicateurs physiologiques clés, qui sont associés à l'état d'incertitude, ainsi que les caractéristiques individuelles qui contribuent à la manifestation de cet état. Puis, nous développons des modèles prédictifs permettant d'identifier automatiquement l'état d'incertitude à partir des différentes modalités analysées, via l'entraînement d'algorithmes d'apprentissage machine

### 3.1.2 MODÈLE TUTEUR

Le rôle du tuteur dans notre STI est de guider l'apprenant médecin et suivre son évolution grâce aux règles pédagogiques qu'il implémente. La stratégie pédagogique que nous avons choisi est **l'entraînement (Coaching)**. Le tuteur intervient dans la séance lorsque cela est nécessaire, et de manière contextuelle.

Notre modèle Tuteur est présenté par Figure 3.5.

Le tuteur suit l'approche et les comportements de l'apprenant dans l'environnement du STI et détermine s'il est opportun de l'interrompre, dépendamment du contexte. Il interroge également l'expert lorsque l'apprenant médecin effectue des actions dans le système (processus de pose de diagnostic, examen demandé, différentiel donné), afin de comparer les choix de ce dernier avec ceux décrits par l'expert. Le tuteur se base sur ces comparaisons pour assister l'apprenant médecin. Il interagit d'autre part avec l'apprenant à travers des **rétroactions (feedbacks)**, qui peuvent être positives ou négatives, et qui sont conçus en se basant sur les stratégies de feedbacks décrite dans [2].

C'est suite aux évaluations faites sur l'apprentissage de l'apprenant médecin, et en collaboration avec l'expert, que le modèle de l'apprenant est mis à jour.

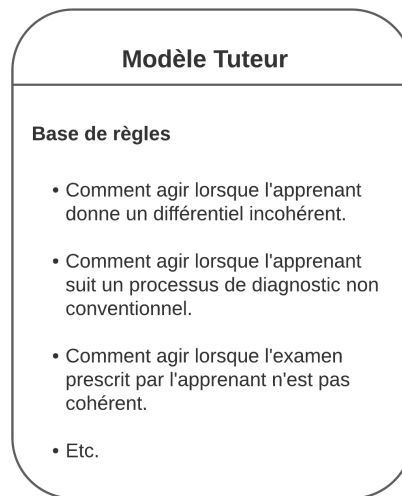


Figure 3.5 – Modèle tuteur dans notre STI

### 3.1.2.1 NOS STRATÉGIES DE FEEDBACK

Nous avons choisi comme catégorie de stratégie le *Knowledge of performance* **KP** qui fournit à l'apprenant un retour d'informations sommaire après qu'il ai terminé un CAS. Ce feedback contient des informations sur le niveau de performance atteint pour la pose du diagnostic du CAS (par exemple, le pourcentage des bonnes questions) et comme concept élaboré le *Knowledge on how to proceed or, know-how* (**KH**) [2] qui doit fournir des informations détaillées sur la connaissance procédurale de la pose de diagnostic du CAS en cours. Il s'agit par exemple des :

- Conseils pour la correction des erreurs
- Conseils/explications sur les stratégies spécifiques aux tâches
- Conseils/explications sur les étapes du traitement des tâches
- Questions d'orientation
- Exemples élaborés

### 3.1.3 MODÈLE EXPERT

Le module expert définit les faits et les règles qui sont valides dans le contexte du diagnostic médical. Il décrit une représentation des connaissances à transmettre à l'apprenant.

Dans ce système, l'objectif est l'enseignement du diagnostic médical. Deux types de connaissances doivent donc être transmises :

#### 3.1.3.1 IDENTIFICATION DE LA MALADIE

L'apprenant doit pouvoir reconnaître à quelle maladie correspond un ensemble de signes et de symptômes manifestés par un patient. L'expert est capable de faire cette correspondance là. Il s'agit alors d'une



connaissance descriptive, car c'est un fait qu'un ensemble de symptômes et de signes cliniques sont causés par une maladie particulière.

Pour les connaissances liées à l'identification de la maladie, nous faisons directement la relation entre les signes, symptômes, antécédents et paramètres d'un patient avec la maladie diagnostiquée par l'expert. Pour cela, une base de cas a été mise en place. La base de cas contient des cas réels de patients souffrant d'une maladie qui a pu être diagnostiquée par un expert.

Un cas est caractérisé par :

- Les informations du patient : sexe, âge, condition physique (femme enceinte, etc.)
- Les antécédents du patient : maladies, malaises récurrents, etc.
- Les paramètres du patient : température, pression sanguine, poids, etc.
- Les symptômes du patient
- Les signes du patient
- Les résultats d'examen du patient

### 3.1.3.2 PROCÉDURE DE POSE DE DIAGNOSTIC

L'expert définit la procédure à suivre, les astuces et les règles à appliquer pour pouvoir établir un bon différentiel le plus rapidement et avec précision. Il s'agit de connaissances procédurales.

A cet effet, nous utilisons un graphe de décision assimilable à un réseau bayésien qui résume les différentes étapes d'un diagnostic médical. Les différents noeuds du graphe sont des questions qui peuvent être posées à une étape précise du diagnostic et les liens entre les différents noeuds représentent les réponses possibles qu'un patient peut donner. Les feuilles de l'arbre quant à elles sont les différentes maladies connues de l'expert.

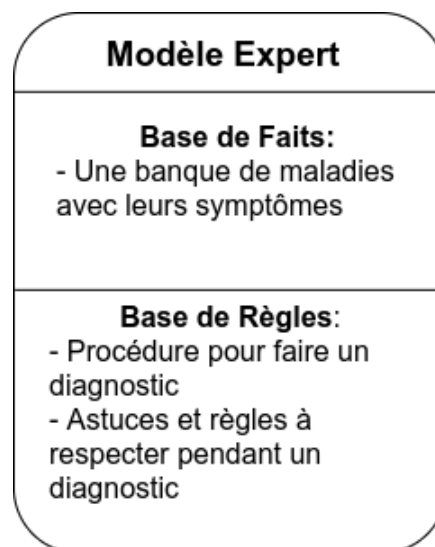
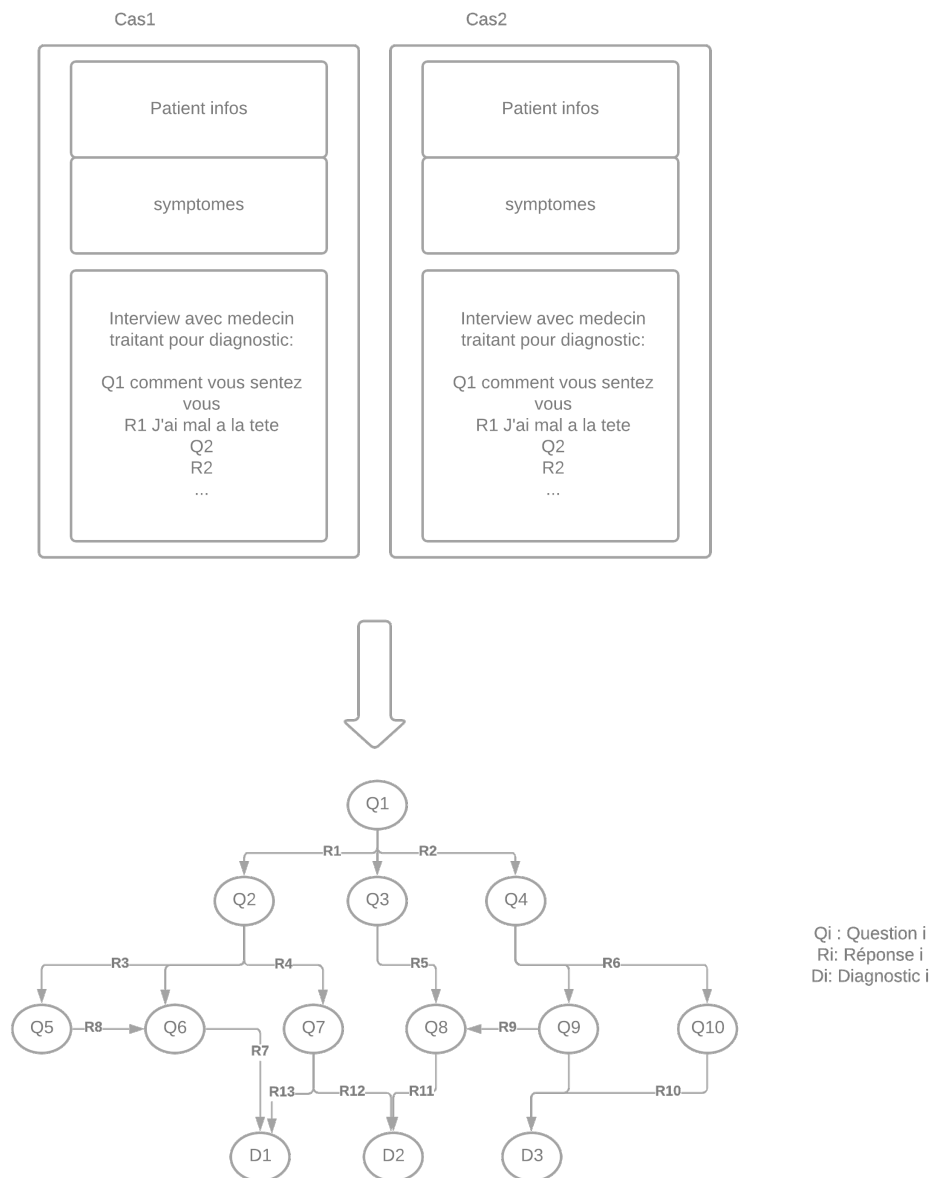


Figure 3.6 – Modèle expert dans notre STI

### 3.1.3.3 CONSTRUCTION DE LA PROCÉDURE DE DIAGNOSTIC CHEZ L'EXPERT

Pour construire le graphe de procédure de diagnostic, nous partons de la base des cas. L'idée est de construire un réseau bayésien à partir des différents cas de la base des cas de l'expert. Le graphe sera donc une synthèse de la procédure à suivre pour poser un bon diagnostic.



**Figure 3.7** – Transformation des cas en réseau bayésien

### 3.1.4 PATIENT VIRTUEL

Nous considérons dans ce travail que le patient virtuel est un agent émotif et réactif. Il doit être capable de répondre aux questions posées et de simuler une maladie définie par l'expert. Comme dans l'architecture de base d'un agent réactif, le patient virtuel possède des actionneurs, des capteurs et un module de traitement.

#### 3.1.4.1 LE MODULE CAPTEUR

Le patient virtuel doit être capable de répondre aux questions posées par l'apprenant. Pour cela, il doit être capable de recevoir et de traiter les questions qui proviennent de l'apprenant via l'interface. Le module capteur est donc un module chargé de capturer les questions, qu'elles soient sous forme textuelle ou vocale. En outre, ce module fait du traitement du langage naturel pour extraire de la question l'intention

de l'apprenant derrière la question. Les entrées (vocales ou textuelles) sont donc transformées en données représentant les informations d'une question et sont renvoyées vers le module de traitement.

#### 3.1.4.2 LE MODULE DE TRAITEMENT

Le module de traitement reçoit des données et déclenche les actions à prendre par le patient virtuel. Il reçoit les données du module de capteurs afin d'interroger le module expert pour savoir comment il doit se comporter physiquement et comment il doit répondre aux questions posées par l'apprenant. Il communique donc directement avec le module expert.

#### 3.1.4.3 LE MODULE ACTIONNEUR

Le module actionneur permet de définir quel types d'actions le patient virtuel peut effectuer, et comment il doit les effectuer.

Il existe deux types d'actions que le patient virtuel est capable d'effectuer :

**Répondre à une question :** Le module permet directement à partir des données renvoyées par le module de traitement de générer un texte ou un message vocal à transmettre à l'apprenant via l'interface. Ce message sert de réponse à une question préalablement posée par ce dernier.

**Manifester les signes physiques d'une maladie :** Ce composant est responsable de simuler les différents tics physique et de donner des méta-informations par rapport aux paramètres à l'apprenant via l'interface.

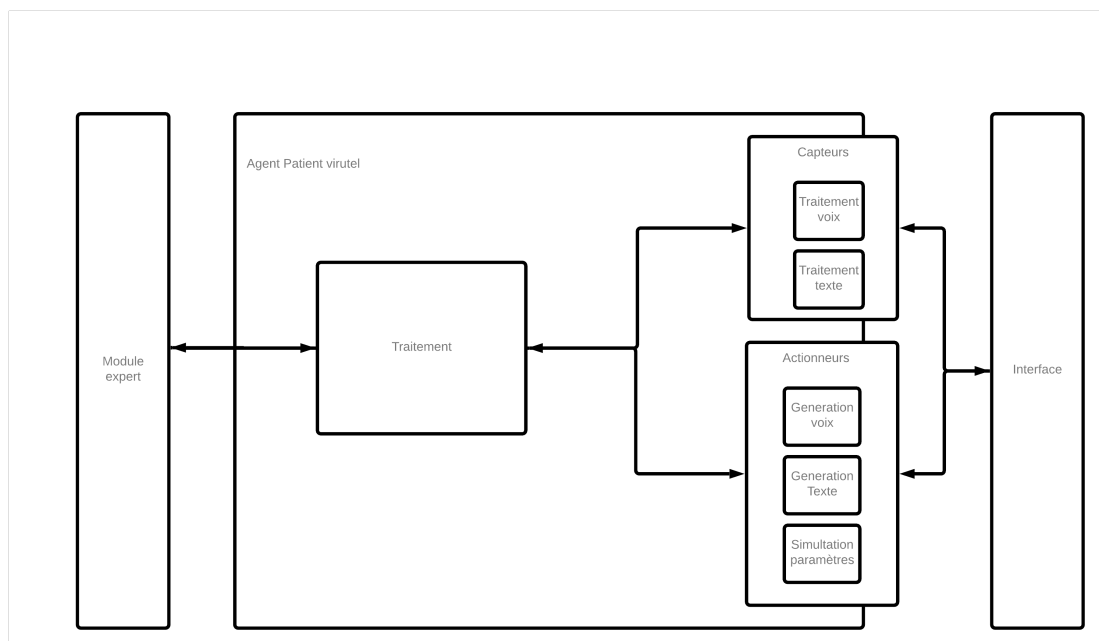


Figure 3.8 – Module Patient Virtuel

### 3.1.5 INTERFACE UTILISATEUR

Nous utiliserons la méthodologie de la conception centrée sur l'utilisateur. Selon la norme ISO 13407, cela se fait en 03 étapes :

- Analyse
- Conception
- Implémentation

Dans cette section, nous nous intéressons aux parties Analyse et Conception. L'implémentation sera présenté un peu plus loin dans le document.

#### 3.1.5.1 ANALYSE

Il s'agit ici d'identifier la population cible de notre STI, ses caractéristiques, son but et son environnement.

##### IDENTIFICATION DE LA POPULATION CIBLE

Les principaux utilisateurs de notre système ( notre STI) sont :

- des jeunes médecins et
- des étudiants médecins

désirant acquérir le savoir-faire de la pose de diagnostic médical. À la figure 3.9, nous illustration cela dans un diagramme de contexte UML.

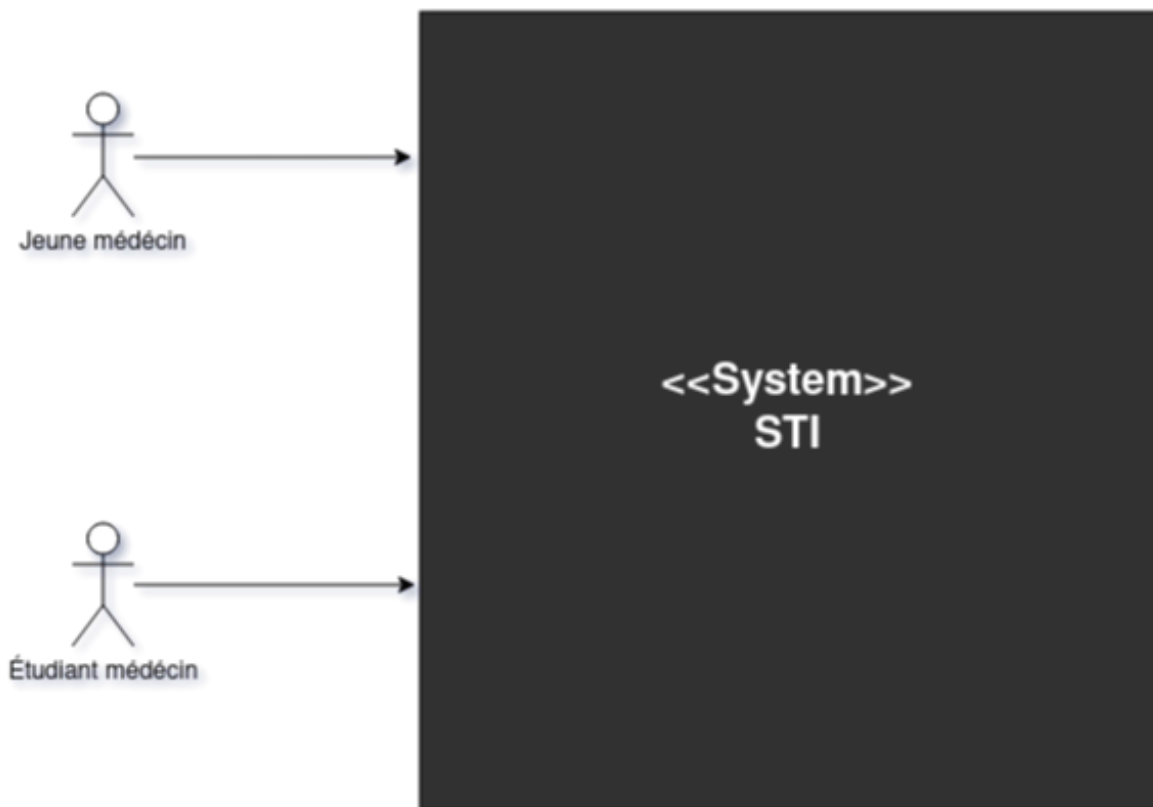


Figure 3.9 – Diagramme de Contexte

## CARACTÉRISTIQUES DE NOS UTILISATEURS

Étant des étudiants médecins ou jeunes médecins, ils seront :

- Relativement jeunes. Entre 16 ans et 35 ans,
- des deux sexes, homme et femme,
- connaissent les fondamentaux de l'outil informatique et de l'Internet. Par exemple, ils seront ouvrir un site web et le parcourir, reconnaître et remplir des champs de textes, les valider , ....
- peu expérimentés en ce qui concerne la pose de diagnostic.

## BUT ET ENVIRONNEMENT

L'objectif principal de nos utilisateurs est d'apprendre à correctement poser un diagnostic, la méthode et les astuces utilisés par des médecins "experts" ( mieux expérimentés qu'eux).

Nous nous situons dans l'environnement Camerounais. Dans lequel, l'apprentissage assisté par ordinateur est à ses débuts. La forme la plus répandue d'apprentissage assisté par ordinateur sont les cours en ligne : MOOCs (Massive Open Online Courses). En général, ce type d'apprendre est assez rigide. Dans ce sens où les cours , les exercices et les examens sont pré enregistrés de façon peu flexible. Un MOOC ne s'adaptera pas aux spécificités d'un apprenant lambda. Nous nous adressons donc à une population qui n'a "jamais" fait usage des STIs.

### 3.1.5.2 CONCEPTION

Il s'agit ici de comprendre et spécifier les exigences des utilisateurs, définir les cas d'utilisation. À la figure 3.10, nous présentons les différents cas d'utilisation de notre système vus par l'utilisateur et les relations entre eux.

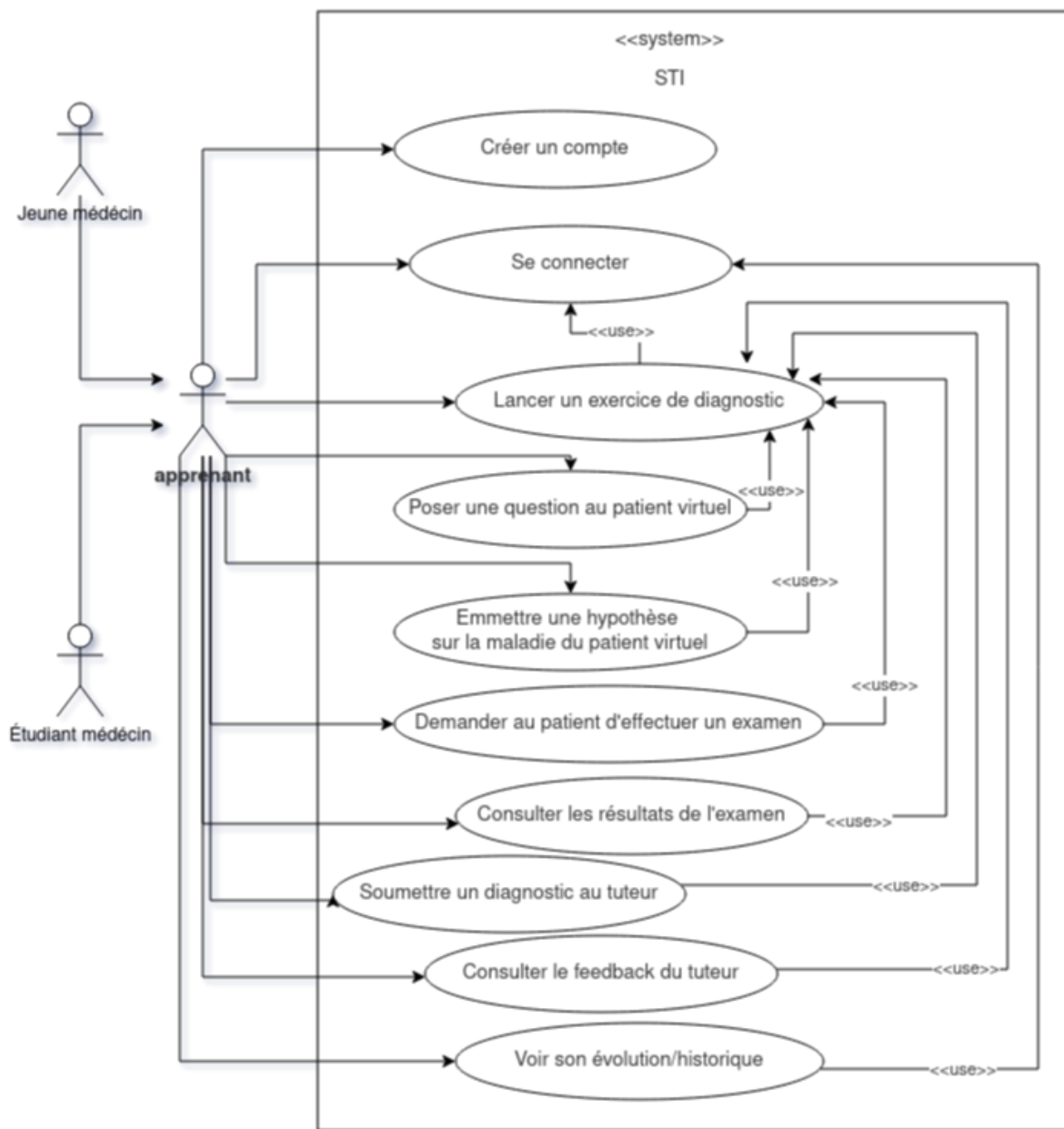


Figure 3.10 - Diagramme des cas d'utilisation vus par l'utilisateur

#### DESCRIPTION TEXTUELLE DE QUELQUES CAS D'UTILISATION.

Nom	Lancer un exercice de diagnostic
Description	
Pré conditions	L'utilisateur doit s'être connecté à son compte.
Post condition	Le patient virtuel est configuré et la partie est lancée.

Table 3.1 - Description textuelle de "Lancer un exercice de diagnostic"

<b>Nom</b>	Demander au patient d'effectuer un examen
<b>Description</b>	
<b>Pré conditions</b>	L'utilisateur doit avoir lancé une partie.
<b>Post condition</b>	L'examen est effectué et un bouton permettant d'afficher les résultats de l'examen.

**Table 3.2** – Description textuelle de "Demander au patient d'effectuer un examen"

<b>Nom</b>	Soumettre un diagnostic au tuteur
<b>Description</b>	
<b>Pré conditions</b>	L'utilisateur doit avoir lancé une partie
<b>Post condition</b>	Le diagnostic posé par l'apprenant est soumis au tuteur et un bouton permettant de charger la page des résultats et appréciation est affiché.

**Table 3.3** – Description textuelle de "Soumettre un diagnostic au tuteur"

#### MOYENS DE COMMUNICATION ENTRE L'UTILISATEUR ET L'INTERFACE.

L'utilisateur interagira avec l'interface principalement de deux façons :

- par la vue.  
Il y aura un certain nombre d'éléments sur son écran sur lesquels il pourra cliquer et voir la réponse à l'écran.
- par la voix.  
La communication avec le patient virtuel se fera aussi par la voix. Similairement aux salons virtuels. Cependant, le système ne peut pas traiter directement de la voix. Nous utiliserons deux modèles de réseaux de neurones, l'un pour la conversion "voice ( speech ) to text" et l'autre pour la conversion "text to speech".
  - **FastSpeech** [6] : pour le "text to speech",
  - **WaveNet** [7] : pour le "text to speech".

Nous illustrons cela à la figure 3.11.

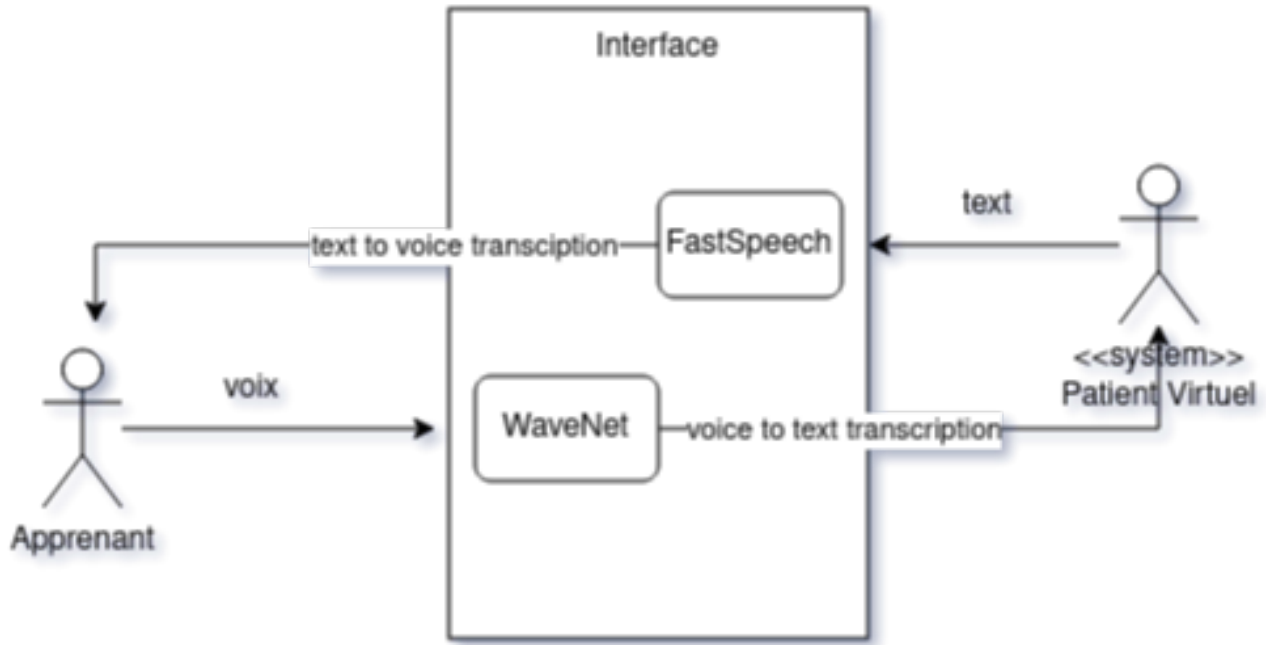


Figure 3.11 – Moyens de communication apprenant-patient virtuel

## 3.2 ARCHITECTURE FONCTIONNELLE

Après avoir présenté les composantes de notre STI, il est important de comprendre les interactions entre elles ainsi que la manière dont le système les met à contribution pour implémenter les fonctionnalités de notre application.

### 3.2.1 ARCHITECTURE INTERNE

Les quatre principaux modules (expert, tuteur, apprenant, interface) et le module du patient virtuel implémentés dans notre système ont été détaillés plus haut dans ce chapitre. La figure Figure 3.12 présente un graphique qui illustre les interactions entre les différentes composantes du système.



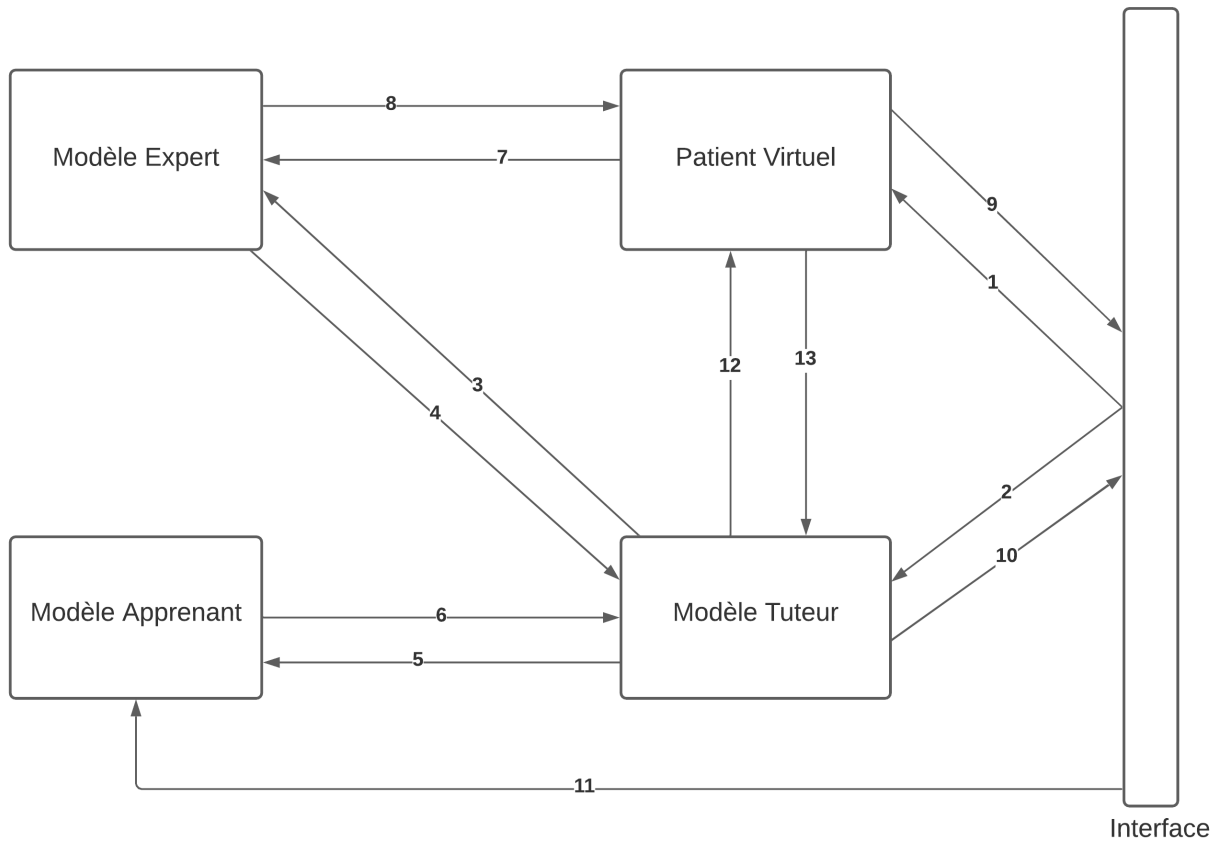


Figure 3.12 – Architecture interne de notre Système

### 3.2.2 CYCLE DE FONCTIONNEMENT

Lorsque l'apprenant démarre l'application, il est invité à entrer les informations de son compte (nom d'utilisateur et mot de passe). Si l'apprenant ne possède pas de compte, il est invité à le créer (noms, niveau scolaire en médecine, année d'expérience, spécialisation, etc ...). Et au tout premier accès, le système lui fait passer un test. Les réponses à ce test serviront à créer le modèle psychométrique qui servira à initialiser le modèle de l'apprenant (**interaction 1** de la Figure 3.12), permettant au système d'établir un premier modèle cognitif qui donnera les informations de base sur le suivi personnalisé de l'apprenant.

Après cette première évaluation, l'apprenant médecin peut commencer son apprentissage de la pose de diagnostic médical. Lorsqu'il commence une séance, le modèle Tuteur récupère ses informations contenues dans le modèle apprenant (**interactions 5 et 6** de la Figure 3.12) et cherche le **CAS** le plus approprié pour lui, en fonction de ses informations (spécialité, niveau dans le système, etc ...) en interagissant avec le modèle Expert (**interactions 3 et 4** de la Figure 3.12). Une fois le CAS trouvé, la configuration du Patient Virtuel peut commencer, ainsi que de la séance de travail au niveau de l'interface (**interactions 9, 10, 12 et 13** de la Figure 3.12).

Une fois le CAS configuré la séance peut commencer, l'apprenant interagit avec l'interface en posant des questions (par la voix), au patient virtuel, puis l'interface relaie ces questions au Patient Virtuel et au modèle Tuteur (**interactions 1 et 2** de la Figure 3.12). Le Patient Virtuel interagit avec le Modèle Expert pour trouver la réponse la plus appropriée du CAS et le transmet à l'interface (**interactions 7, 8 et 9** de la

Figure 3.12). Le modèle Tuteur, dépendamment de ses configurations, conserve le graphe des questions posé et le compare aux graphes procéduraux des questions relatives à tous les CAS du même type en interagissant avec le modèle Expert et le Patient Virtuel (pour les réponses données), ensuite une note est générée avec des feedbacks relatifs à la performance de l'apprenant médecin à l'interface (**interactions 3,4,10 et 12,13** de la Figure 3.12). A la fin le modèle de l'apprenant est mis à jour.

La Figure 3.13 donne un récapitulatif du workflow du système.

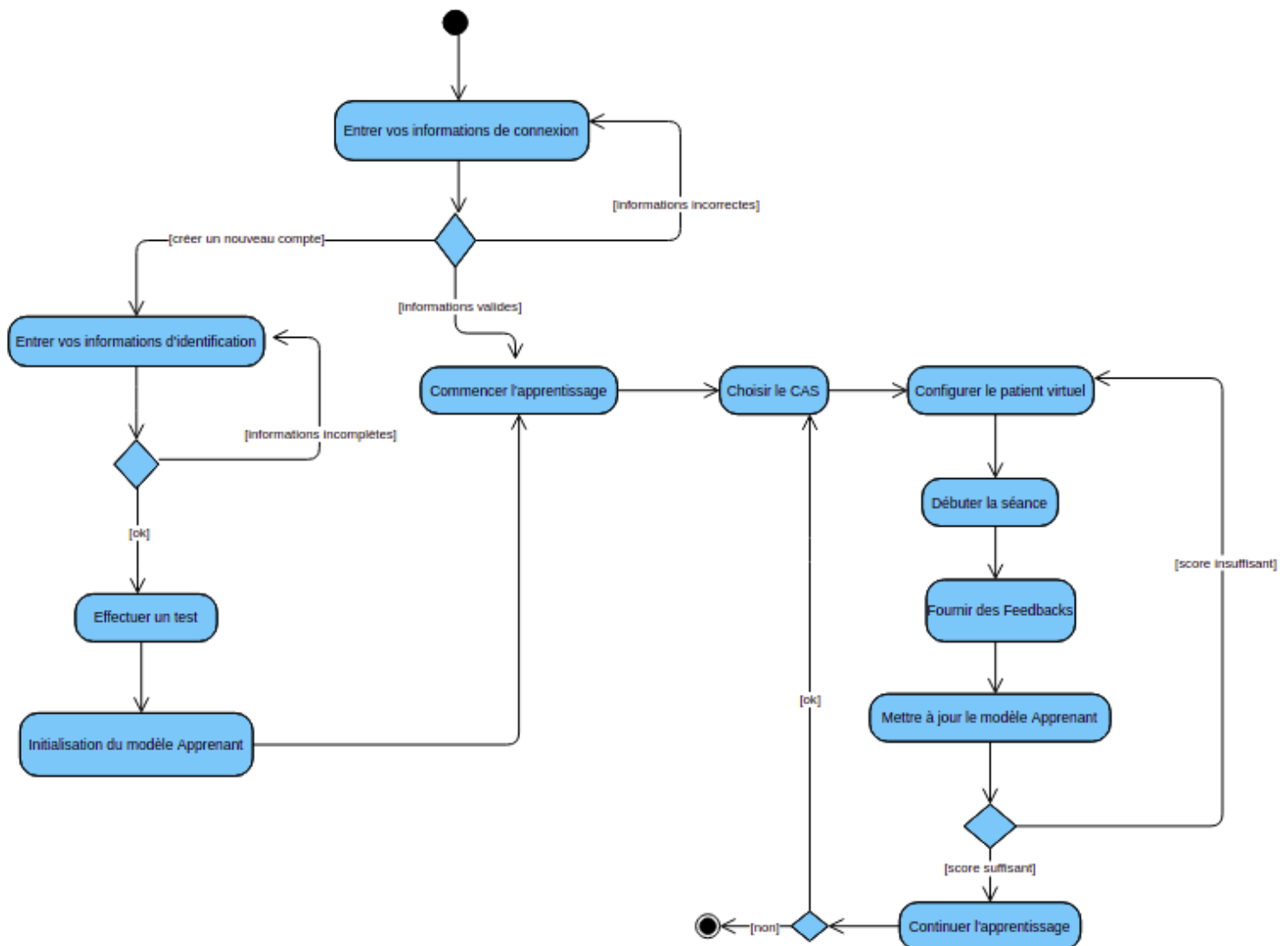


Figure 3.13 – Workflow du Système

# 4

## Implémentation

### 4.1 EXPERT

Le module expert joue un rôle essentiel dans les STIs. Il permet de représenter les connaissances à transmettre, et intègre aussi l'évaluation des connaissances de l'apprenant. Dans notre système, le module expert communique avec le patient virtuel et le tuteur.

Nous avons fait le choix d'implémenter ce module comme un composant accessible par les composants externes via une API Rest. En interne, le composant expert est constitué de deux sous-composants :

**Un sous composant pour l'implémentation de la base des cas[8] :** Il s'agit essentiellement d'une base de donnée dans laquelle se trouve un schéma qui représente les cas. Le choix a été porté sur une base de donnée NoSQL orientée document **MongoDB** qui permet de garder de manière optimisée les informations sous forme d'objets directement utilisable. De plus, elle permet de gérer de grands volumes de données, ce qui est primordial pour les opérations à effectuer.

**Un sous composant pour l'implémentation du réseau bayésien[9] :** Ici, pour la mise en place du réseau bayésien, nous préconisons l'utilisation de l'outil **pyAgrum**. Il s'agit d'une librairie en python accessible, dotée d'une API hyper paramétrable, et qui implémente des structures de données et des algorithmes optimisés pour la construction des réseaux bayésiens et les inférences sur ces dernières.

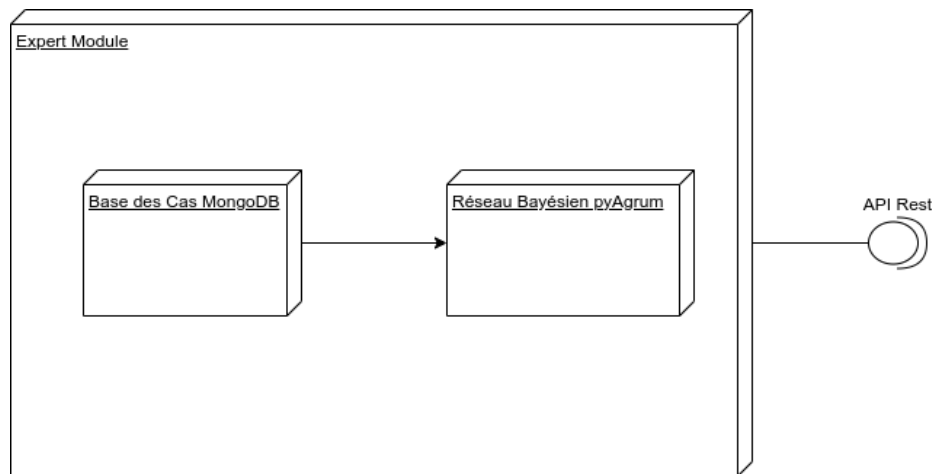


Figure 4.1 – Diagramme de déploiement du module expert

## 4.2 TUTEUR

Dans les STIs, le tuteur joue un rôle très important. Il supervise, oriente et évalue l'apprenant tout au long du processus d'apprentissage. C'est la composante des STI qui implémente l'adaptabilité du système en offrant la possibilité d'encadrer chaque apprenant de manière personnalisée à travers des interactions soigneusement élaborées.

Dans notre système, les interactions entre le tuteur et l'apprenant se font selon une approche de **Coaching**, qui est une méthode d'enseignement dans laquelle le tuteur et l'apprenant collaborent à la construction de solutions [10]. Dans cette méthode l'interaction apprenant-tuteur s'ajuste en fonction des progrès de l'apprenant.

Pour être capable de remplir efficacement ses fonctions, le comportement de notre tuteur se base sur des règles tutorielles. Par exemple :

- Si l'apprenant pose une question pas appropriée, alors l'interpeller et lui rappeler (donner une piste) les types de questions à poser dépendant du contexte.
- Si l'examen demandé par l'apprenant ne cadre pas avec le contexte, alors l'interpeller et l'orienter si nécessaire.
- Si le différentiel proposé par l'apprenant est trop éparse et divergeant, alors l'interpeller et l'orienter si nécessaire.

Pour implémenter ces règles nous proposons l'outil **JESS** (Java Expert System Shell) qui est une API entièrement développée en Java pour la création des systèmes experts à base de règles.

## 4.3 MODÈLE APPRENANT

Dans notre système le module apprenant joue un rôle important car il permet de suivre un apprenant tout au long de son interaction avec notre système. Il est constitué de plusieurs composants dont :

- Modèle cognitif : ce modèle sera implémenté avec les réseaux bayésien, l'outil **pyAgrum**. Il s'agit d'une librairie en python accessible, dotée d'une API hyper paramétrable, et qui implémente des structures de données et des algorithmes optimisés pour la construction des réseaux bayésiens et les inférences sur ces dernières.

## 4.4 INTERFACE UTILISATEUR : PROTOTYPAGE

La conception de notre interface utilisateur étant basée sur la conception centrée sur l'utilisateur, nous présentons dans cette partie la dernière phase de celle-ci : L'implémentation.

Nous avons utilisé l'approche Hi-Fi ( High Fidelity) pour le prototypage de nos interfaces utilisateur. Il s'agit d'une représentation avec un maximum de détails.

### 4.4.1 OUTILS UTILISÉS POUR LE PROTOTYPAGE

#### 4.4.1.1 POUR LE PROTOTYPAGE

Notre choix s'est porté sur l'outil **Figma** (<https://figma.com/> consulté le 20 Janvier 2022). En effet,

- Figma est un outil de prototypage en ligne avec une fonctionnalité de collaboration en temps réel.
- Il n'est pas nécessaire d'enregistrer et d'organiser les fichiers. Le travail est automatiquement enregistré dans un espace partagé dans le Cloud.
- On peut partager tout les prototypes créés en un clic.


#### 4.4.1.2 POUR LES ILLUSTRATIONS

La totalité des illustrations présentes sur nos interfaces proviennent du site web **Storyset** (<https://storyset.com/> consulté le 20 Janvier 2022)

### 4.4.2 QUELQUES INTERFACES RÉALISÉES

#### 4.4.2.1 INTERFACE DE LA CRÉATION DE COMPTE

Nous présentons à la figure 4.2 , l'interface qui sera vue par l'utilisateur lors de la réalisation du cas d'utilisation "Créer un compte".



## Créez votre compte et entraînez vous !

Quel est votre nom ?

Vous êtes

☒ étudiant médecin ☐ médecin

Quel est votre email ?

Entrez un mot de passe

Confirmer votre mot de passe

☐ J'ai lu et j'accepte [les conditions d'utilisation](#)

Ok

Vous avez déjà un compte ?

[Connectez vous](#)

Figure 4.2 – Interface pour la création de compte

#### 4.4.2.2 INTERFACE DE CONNEXION

Nous présentons à la figure 4.3 , l'interface qui sera vue par l'utilisateur lors de la réalisation du cas d'utilisation "Se Connecter".

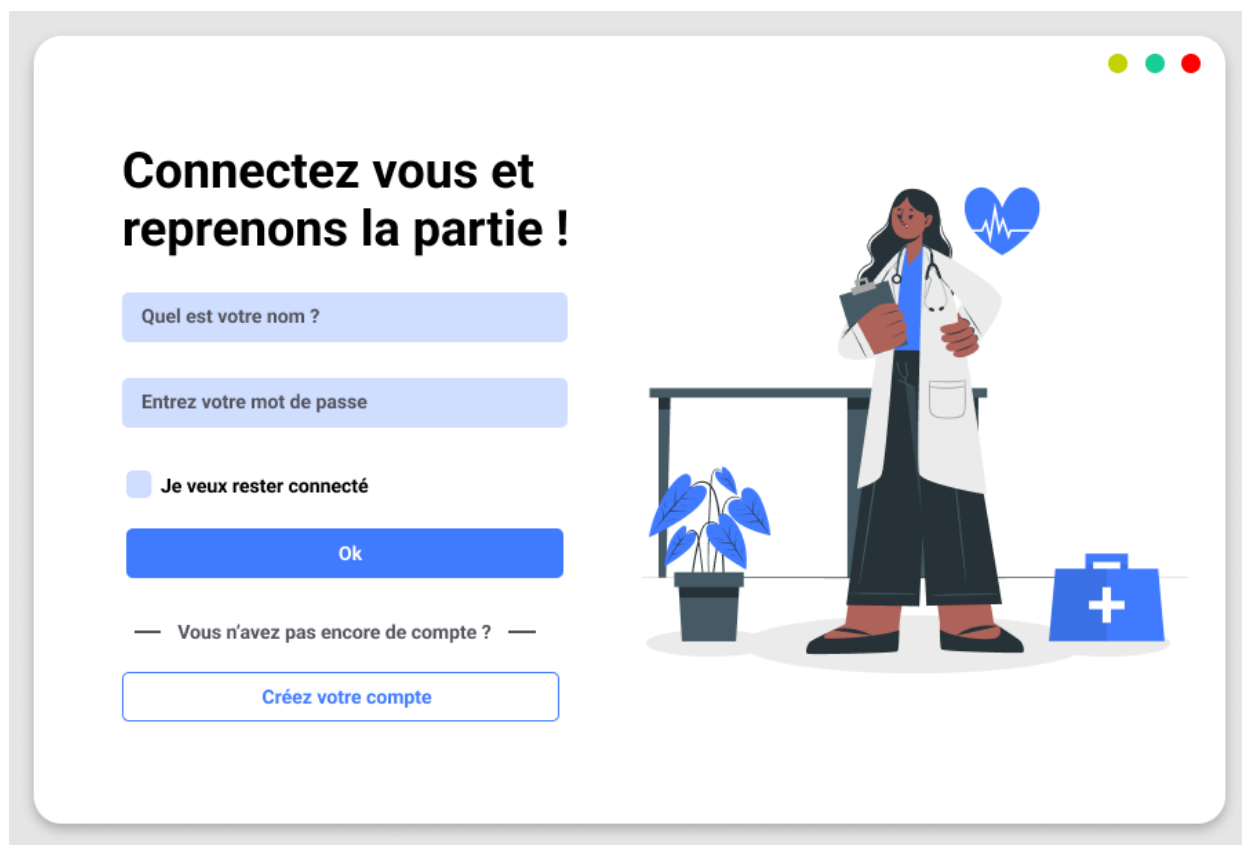


Figure 4.3 – Interface de Connexion

#### 4.4.2.3 INTERFACE DU TABLEAU DE BORD À LA PREMIÈRE CONNEXION DE L'UTILISATEUR

À la première connexion de l'utilisateur, un pré-test lui sera proposé afin de jauger son niveau pour la configuration de son premier exercice de diagnostic. À la figure 4.4, nous présentons l'interface qui sera vu par l'utilisateur.

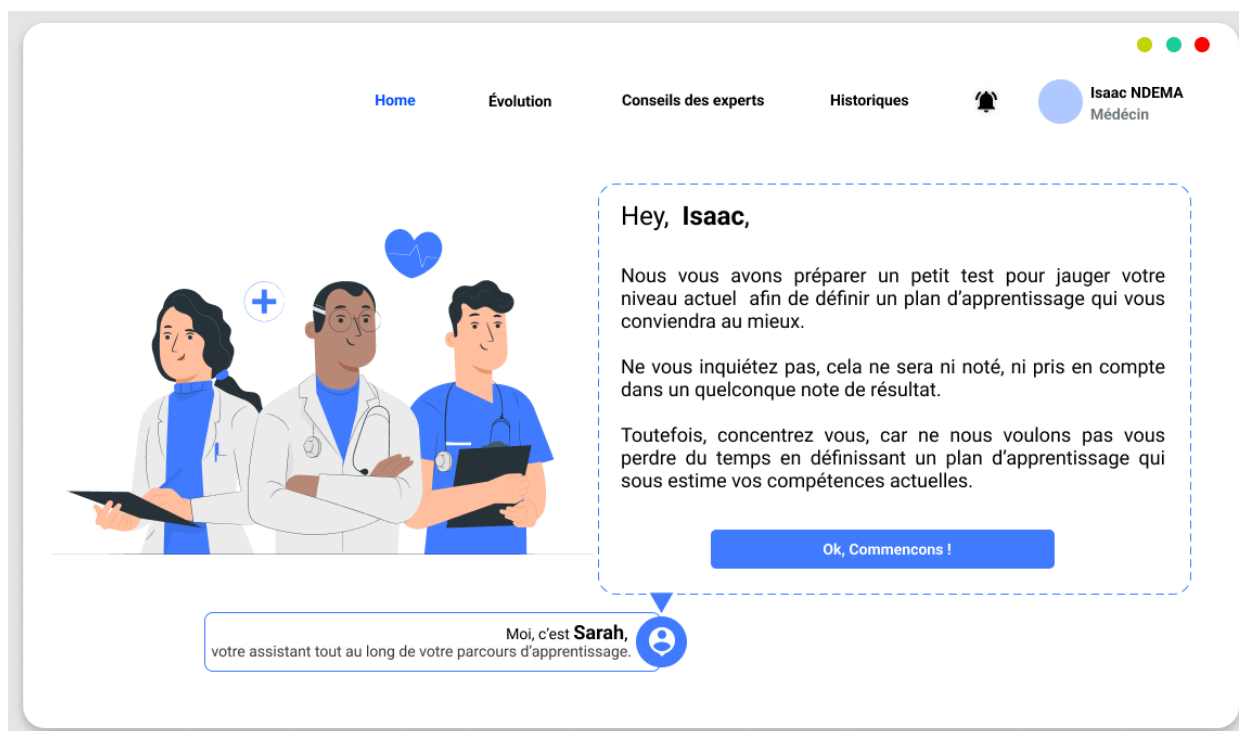


Figure 4.4 – Interface du tableau de bord à la 1ère connexion

#### 4.4.2.4 INTERFACE DU TABLEAU DE BORD DE L'UTILISATEUR

Nous présentons à la figure 4.5 , l'interface qui sera vue par l'utilisateur lors de la réalisation du cas d'utilisation "Lancer un exercice de diagnostic".

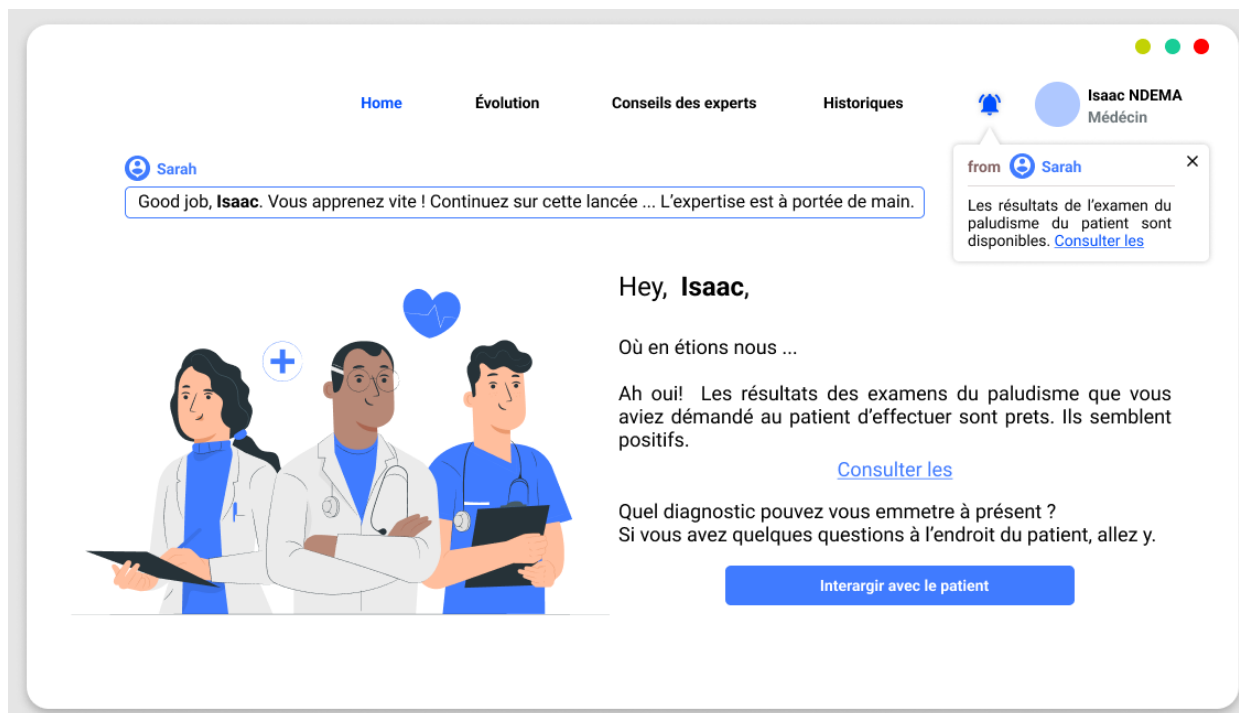


Figure 4.5 – Interface du tableau de bord



#### 4.4.2.5 INTERFACE DE L'ÉCHANGE ENTRE L'APPRENANT ET LE PATIENT VIRTUEL

Nous présentons à la figure 4.6, l'interface qui sera vue par l'utilisateur lors d'un échange avec le patient virtuel.

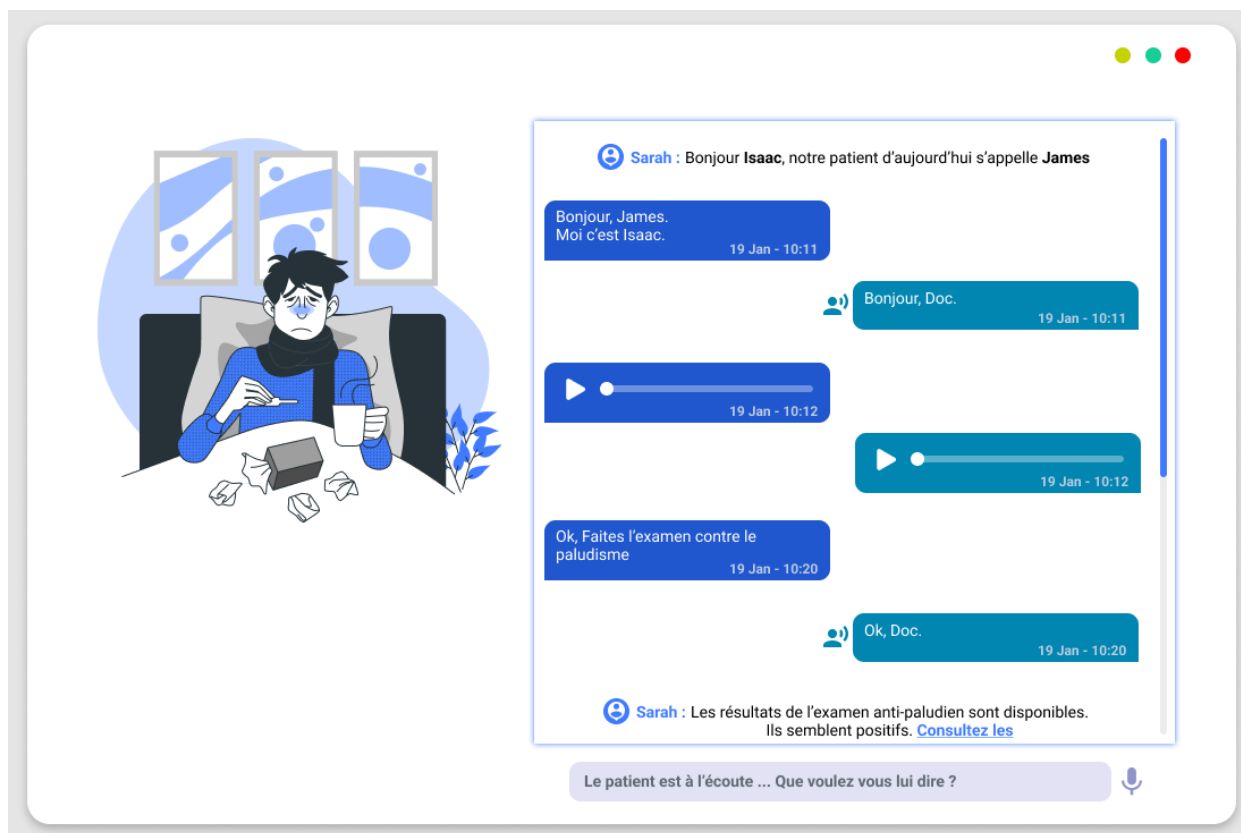


Figure 4.6 – Interface de l'échange entre l'apprenant et le patient virtuel

# 5

## Discussion

### 5.1 POINTS FORTS

Les points forts de notre solution :

- Adaptation du contenu (des CAS) en fonction du niveau réel de l'apprenant médecin.
- Utilisation de plusieurs types de feedback qui fournissent à l'apprenant un retour sur sa performance pendant la séance, et sur les moyens de l'améliorer.
- Prise en compte de l'état cognitif et affectif pour améliorer la stratégie pédagogique.
- Modélisation des procédures de pose de diagnostic pour facilement évaluer la procédure de l'apprenant.
- Prise en compte des examens dans notre système, pour rendre la pose de diagnostic encore plus réelle et variée.
- Utilisation des discussions par voix et par textes pour rendre l'expérience encore plus réaliste.

### 5.2 LIMITES

Les limites de notre solution :

- Le suivi d'un patient n'est pas pris en compte (les CAS liés).
- La simulation des expressions du patient virtuel n'est pas pris en compte.

### 5.3 PERSPECTIVES

Les perspectives de notre solution :

- On pourrait ajouter la prescription des médicaments dans la procédure de la pose de diagnostic
- On pourrait utiliser le modèle inférentiel pour rendre la stratégie pédagogique encore plus efficace.
- On pourrait ajouter l'évaluation des expressions non verbales du patient par l'apprenant médecin.

# 6

## Conclusion

En somme, il était question tout au long de ce document de proposer aux étudiant médecins et jeunes médecin, un cadre d'expérimentation à la pose de diagnostic. Pour y parvenir, nous avons proposé une modélisation d'un STI. Tout d'abord, nous avons posé le décor en présentant les concepts généraux et une revue de la littérature au sujet des STI et du diagnostic médical. Puis, nous avons détaillé l'architecture globale de notre solution. Nous aurons un modèle apprenant qui nous permettra de d'écrire et de suivre la trace de l'évolution de l'apprentissage de l'apprenant, son niveau, ses lacunes, ses idées fausses; un modèle tuteur qui permet de décrire notre stratégie pédagogique : l'entraînement; un modèle expert qui décrit une représentation des connaissances à transmettre à l'apprenant notamment l'identification de la maladie ( sous forme de relation "si tels symptômes, alors tel maladie") et la procédure de pose de diagnostic ( en utilisant une base de faits et de règles et les réseaux bayésiens pour l'inférence); un patient virtuel pour simuler une maladie et répondre aux questions posées par l'apprenant que nous modélisons comme un agent émotif et réactif; et, enfin l'interface utilisateur par lequel l'apprenant passera pour interagir avec notre STI. La conception de l'interface utilisateur a suivi la méthodologie de la conception centrée sur utilisateur présentée dans la norme ISO 13407. Il y a donc eu une analyse où nous avons identifier et caractériser notre population cible et son environnement; puis, une conception où nous avons spécifier leur exigences des utilisateurs. Ensuite, nous avons touché l'aspect pratique de tout ceci dans la partie l'implémentation. Nous y avons présenté les outils, les algorithmes et les interfaces qui seront utilisés dans chaque composant de notre STI. A ce propos, dans le module tuteur, nous utiliserons JESS pour implémenter la base de règles. La base de cas du module Expert sera enregistrée dans une base de données NoSQL, MongoDB en occurrence. Le réseau bayésien sera mis en place avec l'outil pyArgum. L'interface utilisateur a été prototypé sur l'approche High Fidelity avec l'outil Figma. Notre solution a ceci de bénéfique que le contenu (des CAS) s'adapte en fonction du niveau réel de l'apprenant médecin; plusieurs types de feedback fournissent à l'apprenant un retour sur sa performance pendant la séance, et sur les moyens de l'améliorer; l'utilisation des discussions par voix et par textes pour rendre l'expérience encore plus réaliste. Toutefois, le suivi d'un patient n'est pas pris en compte (les CAS liés), ni la simulation des expressions du patient virtuel. Quelques pistes d'extension de notre travail seraient d'ajouter l'évaluation des expressions non verbales du patient par l'apprenant médecin; inclure la prescription des médicaments dans la procédure de la pose de diagnostic.

# Bibliographie

- [1] R. Nkambou, R. Mizoguchi, and J. Bourdeau, *Advances in intelligent tutoring systems*. Springer Science & Business Media, 2010, vol. 308.
- [2] S. Narciss, “Feedback strategies for interactive learning tasks,” *Handbook of research on educational communications and technology*, vol. 3, pp. 125–144, 2008.
- [3] I. Jraidi, “Modélisation des émotions de l’apprenant et interventions implicites pour les systèmes tutoriels intelligents,” Ph.D. dissertation, 2013.
- [4] F. B. BOULIANNE, *Guides de conceptions d’interfaces pour les Systèmes Tutoriels Intelligents*. Université de Sherbrooke, 2005.
- [5] K. Holstein, V. Aleven, B. M. McLaren, O. Popescu, J. Sewall, and Z. Yu, “Opening up an intelligent tutoring system development environment for extensible student modeling,” Ph.D. dissertation, 2018.
- [6] Y. Ren, Y. Ruan, X. Tan, T. Qin, S. Zhao, Z. Zhao, and T.-Y. Liu, “Fastspeech : Fast, robust and controllable text to speech,” 2019.
- [7] A. van den Oord, S. Dieleman, H. Zen, K. Simonyan, O. Vinyals, A. Graves, N. Kalchbrenner, A. Senior, and K. Kavukcuoglu, “Wavenet : A generative model for raw audio,” 2016.
- [8] “Mongodb official website,” <https://www.mongodb.com/>, accessed : 20-01-2022.
- [9] “Official documentation of pyagrum,” <https://pyagrum.readthedocs.io/en/0.22.5/>, accessed : 20-01-2022.
- [10] K. VanLehn, “Conceptual and meta learning during coached problem solving,” in *International Conference on Intelligent Tutoring Systems*. Springer, 1996, pp. 29–47.