

UNIVERSITÉ PARIS 13 – PARIS-NORD

UFR SANTE, MEDECINE, BIOLOGIE HUMAINE

Année 2014

n°

THÈSE
POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE
DOCTEUR DE L'UNIVERSITE PARIS 13

Discipline : Informatique Médicale

PAR

TSOPRA TAHIRALY Rosy

Née le 21 Décembre 1984 à Montmorency

Présentée et soutenue publiquement le : 25 novembre 2014

**CONCEPTION ET EVALUATION D'UN SYSTEME
DECISIONNEL INFORMATISE BASE SUR LE RAISONNEMENT
DES EXPERTS ELABORANT LES GUIDES DE BONNES
PRATIQUES EN ANTIBIOTHERAPIE EMPIRIQUE**

Directeur de thèse : **Professeur** Alain VENOT

Co-encadrant : **Docteur** Catherine DUCLOS

Jury

Monsieur le Professeur Régis BEUSCART	Rapporteur	<i>Université Lille 2</i>
Monsieur le Professeur Antoine GEISSBUHLER	Rapporteur	<i>Hôpitaux de Genève</i>
Monsieur le Professeur Stéfan DARMONI	Examineur	<i>Université de Rouen</i>
Monsieur le Professeur Bertrand PICARD	Examineur	<i>Université Paris 13</i>
Monsieur le Professeur Jeremy WYATT	Examineur	<i>Université de Leeds</i>
Madame le Docteur Catherine DUCLOS	Co-encadrante	<i>Université Paris 13</i>
Monsieur le Professeur Alain VENOT	Directeur de thèse	<i>Université Paris 13</i>

UNIVERSITÉ PARIS 13 – PARIS-NORD

UFR SANTE, MEDECINE, BIOLOGIE HUMAINE

Année 2014

n°

THÈSE
POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE
DOCTEUR DE L'UNIVERSITE PARIS 13

Discipline : Informatique Médicale

PAR

TSOPRA TAHIRALY Rosy

Née le 21 Décembre 1984 à Montmorency

Présentée et soutenue publiquement le : 25 novembre 2014

**CONCEPTION ET EVALUATION D'UN SYSTEME
DECISIONNEL INFORMATISE BASE SUR LE RAISONNEMENT
DES EXPERTS ELABORANT LES GUIDES DE BONNES
PRATIQUES EN ANTIBIOTHERAPIE EMPIRIQUE**

Directeur de thèse : **Professeur** Alain VENOT

Co-encadrant : **Docteur** Catherine DUCLOS

Jury

Monsieur le Professeur Régis BEUSCART	Rapporteur	<i>Université Lille 2</i>
Monsieur le Professeur Antoine GEISSBUHLER	Rapporteur	<i>Hôpitaux de Genève</i>
Monsieur le Professeur Stéfan DARMONI	Examineur	<i>Université de Rouen</i>
Monsieur le Professeur Bertrand PICARD	Examineur	<i>Université Paris 13</i>
Monsieur le Professeur Jeremy WYATT	Examineur	<i>Université de Leeds</i>
Madame le Docteur Catherine DUCLOS	Co-encadrante	<i>Université Paris 13</i>
Monsieur le Professeur Alain VENOT	Directeur de thèse	<i>Université Paris 13</i>

REMERCIEMENTS

Aux Professeurs Régis BEUSCART et Antoine GEISSBUHLER qui ont accepté d'évaluer mon travail.

Aux Professeurs Stéfan DARMONI, Bertrand PICARD et Jeremy WYATT qui ont accepté de faire partie de mon jury de thèse en tant qu'examineurs.

Au Professeur Alain VENOT et à Madame Catherine DUCLOS. Vous m'avez fait découvrir et aimer l'informatique médicale. J'ai beaucoup appris à vos côtés, et j'espère que nous continuerons à échanger, à trois, autour de futurs projets de recherche. Merci pour tout ce que vous avez fait pour moi.

A Madame Marie-Christine JAULENT, directrice du LIMICS, et au Professeur Anita BURGUN pour leurs précieux conseils.

Au Docteur Jean-Philippe JAIS, pour sa disponibilité et ses conseils statistiques.

Aux Docteurs Sophie ABGRALL, Mounira LAFARGE, Frédéric MECHAI et Patrick NICOLAS qui ont accepté de participer à l'évaluation sur le raisonnement.

Aux médecins généralistes qui ont participé à l'évaluation sur l'utilisabilité de l'interface.

À tous les membres du LIMICS, et plus particulièrement à Sylvie, Bernard, Karima, Rim, Mélanie, Pascal, Gilles, Jérôme et Fadi, pour m'avoir aussi bien accueillie et intégrée au sein de votre équipe. Et bien entendu à Jean-Baptiste, Romain, et Adrien, pour les fous rires partagés. Vive le bureau des confidences et . . . le village des schtroumpfs !

À mon père.

À ma mère.

TABLE DES MATIERES

1. Introduction	6
1.1. Contexte	7
1.2. Problématique et Objectifs	9
1.3. Plan de la thèse	10
2. Etat de l'art	11
2.1. Le médecin et la juste prescription en antibiothérapie	12
2.1.1. Déterminants de la prescription en antibiothérapie	12
2.1.2. Déterminants de l'adoption des Guides de Bonnes Pratiques Cliniques par les médecins	13
2.2. Les SAD en antibiothérapie	15
2.2.1. Les SAD en antibiothérapie capable de générer automatiquement des recommandations	15
2.2.2. Les SAD en antibiothérapie restituant les recommandations issues des Guides de Bonnes Pratiques Cliniques	35
2.3. Les interfaces des SAD	47
2.3.1. Les principes d'utilisabilité (« usability principles »)	47
2.3.2. Les conceptions centrées utilisateurs	50
2.3.3. Les typologies de navigation des interfaces	53
2.3.4. Synthèse	67
3. Résultats	69
3.1. Un algorithme utilisant douze propriétés d'antibiotiques pour retrouver les antibiotiques recommandés, comme dans les guides de bonnes pratiques cliniques	70
3.1.1. Introduction et objectifs	71
3.1.2. Matériels et méthodes	73
3.1.3. Résultats	77
3.1.4. Discussion et conclusion	83
3.2. Conception d'une interface « en un coup d'œil »	87
3.2.1. Introduction et objectifs	87
3.2.2. Matériels et méthodes	89
3.2.3. Résultats	90
3.2.4. Discussion et conclusion	96
3.3. Evaluation de l'interface « en un coup d'œil » par les médecins généralistes	98
3.3.1. Introduction et objectifs	98
3.3.2. Matériels et méthodes	98
3.3.3. Résultats	101
3.3.4. Discussion et conclusion	108
4. Discussion/Conclusion	112
4.1. Partir des GBPs pour s'en affranchir	113
4.2. Une interface porteuse de connaissances	114
4.3. Mise à jour automatisée des connaissances	116
4.4. Perspectives	117
4.4.1. Intégration dans le dossier patient	117

4.4.2.	Aide à l'élaboration des GBPs	118
4.4.3.	Aide à la formation médicale initiale et/ou continue	119
4.5.	Conclusion	119

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 :	Variables décisionnelles utilisées pour générer des recommandations	31
Tableau 2 :	SAD capable de générer des recommandations	34
Tableau 3 :	SAD restituant les recommandations des GBPs	46
Tableau 4 :	Synthèse – Les SAD en antibiothérapie empirique et les types d'interface qu'ils utilisent	68
Tableau 5 :	Propriétés nécessaires utilisées dans le raisonnement médical profond pour la prescription empirique des antibiotiques.	78
Tableau 6 :	Propriétés de préférence utilisées dans le raisonnement médical profond pour la prescription empirique des antibiotiques	79
Tableau 7 :	Méthode 1 – Attribution d'un score relatif aux antibiotiques	81
Tableau 8 :	Comparaison des méthodes 1 et 2.	81
Tableau 9 :	Fréquence (en %) du rang d'apparition des variables de décision parmi l'ensemble des pathologies	91
Tableau 10 :	Lien entre les techniques de design et les principes d'utilisabilité utilisés pour concevoir l'interface « en un coup d'œil »	95
Tableau 11 :	Caractéristiques des médecins	102
Tableau 12 :	Score SUS, Justesse de la réponse, Confiance pour chacune des interfaces	104
Tableau 13 :	Commentaires libres : extraction des termes utilisés par les médecins.	107

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : MYCIN – Interaction avec le médecin expert et non expert .	18
Figure 2 : ICONS peut générer un conseil en antibiothérapie de deux manières	21
Figure 3 : La logique floue – Exemple de la fréquence cardiaque.	23
Figure 4 : FCM-uUTI DSS - Modélisation du traitement par Nitrofurantoïne en carte cognitive floue	24
Figure 5 : Réseau Bayésien – Exemple de l’infection urinaire	25
Figure 6 : Architecture des réseaux neuronaux	28
Figure 7 : Matrice de données des réseaux neuronaux	28
Figure 8 : ADVISE - Interface	52
Figure 9 : IAPP Smart phone – Interface	53
Figure 10 : Diagramme d'arbre de décision	54
Figure 11 : Antibiogarde – Interface	55
Figure 12 : Antibiolor – Interface	57
Figure 13 : Antibioclic – Interface	58
Figure 14 : ABX TRIP – Interface	59
Figure 15 : ABX TRIP – Interface	59
Figure 16 : MYCIN - Interface	60
Figure 17 : SAD intégré dans le HELP système de l’hôpital LDS - Interface	61
Figure 18 : ICONS - Interface textuelle	62
Figure 19 : TREAT - Interface	63
Figure 20 : FCM-uUTI DSS - Interface	64
Figure 21 : ARI Smart Form - Interface	65
Figure 22 : Antibiocarte Version 1 - Interface qui "s'étend et se contracte"	67
Figure 23 : Méthode 2 – Exclusion des antibiotiques selon une séquence de questions	82
Figure 24 : L’interface qui « s’étend et se contracte » de la première version du site Antibiocarte®	89
Figure 25 : Processus de décision déterminant la prise en charge recommandée dans le traitement des maladies infectieuses	92
Figure 26 : Antibiocarte® - L’interface « en un coup d’œil »	94
Figure 27 : Etude crossover	101
Figure 28 : Analyse qualitative de chaque question du SUS prise séparément.	106

ABREVIATIONS UTILISEES

GBP : Guide de Bonnes Pratiques Cliniques

SAD : Système d’Aide à la Décision

1. INTRODUCTION

1.1. CONTEXTE

La prescription inappropriée des antibiotiques peut avoir certaines conséquences néfastes sur :

- le patient, avec un risque d'échec voire d'impasse thérapeutique, ou de complications pouvant mener au décès du patient (1).
- la population, avec le risque d'émergence de résistances bactériennes entraînant une diminution de l'arsenal thérapeutique pour une pathologie donnée (2).
- le système de santé, avec une augmentation des coûts liée aux prescriptions inutiles (effets indésirables induits), ou à l'inefficacité des antibiotiques prescrits (complications, hospitalisation, arrêt maladie) (1).

Quatre-vingt pour cent des prescriptions d'antibiotiques ont lieu en médecine générale. La majorité des prescriptions en soins primaires est faite de manière empirique (ou probabiliste), c'est-à-dire sans identification du pathogène en cause à partir d'un prélèvement bactériologique. La démarche « empirique » est la suivante. En fonction du tableau clinique, le médecin pose un diagnostic et émet une première hypothèse sur le pathogène en cause (virus ou bactérie). Puis, en fonction de l'étiologie supposée, il décide du type de prise en charge : en cas d'étiologie supposée virale, seul un traitement symptomatique est prescrit ; en cas d'étiologie bactérienne, un traitement antibiotique est prescrit. Dans le cas d'un traitement par antibiotique, le choix de l'antibiotique à prescrire est fonction d'une seconde hypothèse qui est faite sur la probabilité que la bactérie soit sensible à l'antibiotique.

Le raisonnement théorique tel que décrit précédemment constitue la stratégie cognitive que le médecin devrait appliquer devant un tableau clinique évocateur d'une infection. La mise en œuvre de cette stratégie cognitive nécessite que le médecin mobilise des connaissances cliniques (ex : symptomatologie), épidémiologiques (ex : fréquence de résistance acquise), microbiologiques (ex : sensibilité naturelle de la bactérie) et pharmacologiques (ex : concentration de l'antibiotique dans l'organe infecté). Certaines de ces connaissances évoluent dans le temps sans que les médecins en soient informés. Cette méconnaissance peut conduire à une prescription inappropriée des antibiotiques (1,4).

Avec l'expérience médicale, le médecin crée des raccourcis de ce raisonnement théorique : il associe des tableaux cliniques à des attitudes thérapeutiques valides au

moment de son apprentissage de la médecine. Ce qui peut à termes, conduire à des prescriptions inappropriées par un défaut de mise à jour des connaissances.

Pour informer les médecins des nouvelles connaissances, les autorités de santé diffusent des Guides de Bonnes Pratiques cliniques (GBP) (5). Néanmoins, même si les GBPs s'appuient sur la médecine fondée sur les preuves, ils restent peu consultés. Les médecins les trouvent longs, complexes, difficiles à lire et à utiliser en pratique clinique courante (6,7).

Pour pallier ces limites, de nombreux systèmes informatisés d'aide à la prescription (SAD) ont été développés en milieu hospitalier (8). Certains pour la prescription empirique, d'autres pour la prescription documentée des antibiotiques (8) (c'est-à-dire en identifiant la bactérie étiologique sur les prélèvements). Les SAD d'aide à la prescription empirique des antibiotiques peuvent être de différents types. Ils peuvent (i) aider à l'orientation étiologique de l'infection par des calculs de probabilités d'infection bactérienne (9–11) ; (ii) faciliter l'accès à des données locales (12) ou nationales (13,14) sur les fréquences de résistance acquise des bactéries ; (iii) guider le choix des antibiotiques en vérifiant certains éléments des bases de données médicamenteuses, tels que par exemple l'indication clinique (15), ou les contre-indications ; (iv) proposer l'accès aux recommandations de bonnes pratiques cliniques (9).

Très peu de SAD ont été développés pour la prescription empirique des antibiotiques en soins primaires. Ils implémentent tous les GBPs, et présentent les limites suivantes :

- Toutes les situations cliniques susceptibles d'être rencontrées en ambulatoire ne sont pas décrites. Par exemple, certains SAD ont été conçus uniquement pour les infections respiratoires. D'autres ne proposent pas de recommandations pour les femmes enceintes.
- La mise à jour des connaissances est retardée par rapport à l'évolution des connaissances, puisqu'elle dépend de la révision du GBP par les autorités.
- Les SAD restent peu adoptés par les médecins en pratique clinique courante à cause de problèmes d'ergonomie, tels que le temps d'utilisation (16), la multiplicité des clics, le manque d'explications et de justifications pouvant aider à renforcer la confiance du médecin.

1.2. PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS

En pratique clinique, les médecins utilisent un raisonnement raccourci sous la forme de tableaux cliniques associés à un traitement. Les SAD actuellement développés en antibiothérapie empirique pour les soins primaires implémentent ce même type de raisonnement. Utiliser un raisonnement raccourci sous la forme de « prémisses (tableaux cliniques) -> conclusions (traitement) » a plusieurs inconvénients :

- Il ne permet pas de décrire toutes les situations cliniques pouvant être rencontrées en ambulatoire.
- Il ne favorise pas l'esprit critique des médecins.
- Il empêche le médecin de raisonner sur une situation nouvelle.

Ce type de raisonnement induit donc un fort risque de prescription inappropriée.

En antibiothérapie empirique, il existe une stratégie cognitive qui permet de choisir l'antibiotique à prescrire pour une situation clinique donnée. Cette stratégie cognitive n'est pas décrite de manière explicite dans la littérature. Nous faisons l'hypothèse qu'elle est utilisée et décrite par les experts qui écrivent les GBPs, et qu'il est possible de généraliser une stratégie cognitive commune pour toutes les pathologies infectieuses rencontrées en ambulatoire.

Utiliser cette stratégie cognitive sur les données actualisées aurait plusieurs avantages :

- Le raisonnement pourrait être généralisé à toutes les situations cliniques rencontrées en ambulatoire.
- Les recommandations proposées seraient actualisées fréquemment.
- Les recommandations seraient justifiées et comprises par les médecins.

En proposant les éléments de cette stratégie aux médecins, on peut espérer qu'ils :

- soient capable de créer des inférences par eux-mêmes, et ainsi qu'ils soient capables de s'adapter à n'importe quelle situation clinique rencontrée ;
- comprennent mieux les raisons pour lesquelles un antibiotique est préféré par rapport à un autre, et ainsi qu'ils adhèrent mieux aux bonnes pratiques cliniques ;
- prennent conscience de l'évolution des connaissances, et ainsi qu'ils fassent évoluer leurs pratiques.

Implémenter la stratégie cognitive utilisée en antibiothérapie empirique devrait limiter le nombre de prescriptions inappropriées. Pour espérer un tel impact, il est nécessaire de

véhiculer aux médecins l'ensemble des éléments utilisés dans la stratégie cognitive sous un format ergonomique, compréhensible et utilisable en pratique clinique.

OBJECTIF

L'objectif de ce travail de thèse est de développer un système informatisé en antibiothérapie empirique, pour les soins primaires, proposant une information actualisée, compréhensible, et utilisable en pratique clinique courante.

Pour développer un tel système, nous nous intéresserons à :

- Reproduire la stratégie cognitive qu'utilisent les experts qui élaborent les Guides de Bonnes Pratiques Cliniques.
- Développer un applicatif ayant des qualités ergonomiques et pédagogiques.

1.3. PLAN DE LA THESE

Notre travail sera présenté selon le plan suivant. D'abord nous présenterons un état de l'art sur :

- Les déterminants de la juste prescription en antibiothérapie, ainsi que les critères d'adoption des Guides de Bonnes Pratiques Cliniques (*chapitre 2, section 2.1*).
- Les SAD existants en antibiothérapie en différenciant ceux qui sont capables de générer automatiquement des recommandations et ceux qui implémentent les Guides de Bonnes Pratiques Cliniques (*chapitre 2, sections 2.2.1 et 2.2.2*).
- Les interfaces des systèmes d'aide à la décision (*chapitre 2, section 2.3*).

Les résultats concernant l'identification de la stratégie cognitive utilisée en antibiothérapie empirique seront décrits au *chapitre 3, section 3.1*. Ceux concernant la conception et l'évaluation d'une interface simple, rapide et intuitive utilisable en pratique clinique courante seront décrits au *chapitre 3, sections 3.2 et 3.3*.

Enfin nous discuterons de la globalité de notre approche et de nos résultats au *chapitre 4*.

2. ETAT DE L'ART

2.1. LE MEDECIN ET LA JUSTE PRESCRIPTION EN ANTIBIOTHERAPIE

2.1.1. Déterminants de la prescription en antibiothérapie

Quelques études ont été menées pour identifier les facteurs prédictifs de la prescription en antibiothérapie.

Certains facteurs sont liés au patient. La prescription d'antibiotiques serait liée à l'origine ethnique du patient (17). La couverture de santé du patient influencerait la prescription d'antibiotiques selon certains (17), et n'aurait pas d'impact sur la prescription pour d'autres (18). En revanche, le lieu géographique et l'âge du patient n'auraient pas d'impact sur la prescription d'antibiotiques (18). Concernant la pathologie du patient : la prescription (ou non) d'antibiotiques serait associée à la présence (ou l'absence) de certains signes cliniques (19). Par exemple, la présence de manifestations purulentes influencerait positivement la prescription d'antibiotiques (20). De même, les infections respiratoires (rhinopharyngites, bronchites) seraient associées à une plus forte prescription d'antibiotiques (18,21).

Plusieurs facteurs prédictifs de la prescription en antibiothérapie sont en rapport avec le médecin. Des auteurs ont montré l'influence du lieu d'exercice (17,18), et de la spécialité médicale (17) sur la prescription d'antibiotiques, tandis que d'autres n'ont pas trouvé de lien (18). De plus, il a été montré que la prescription d'antibiotiques était liée à une durée de consultation plus courte (22). Il a aussi été montré que les habitudes locales du médecin (17), son expérience clinique (23,24), ainsi que sa charge de travail au cabinet étaient associées à un plus fort taux de prescription inappropriée d'antibiotiques (24). En effet, les médecins ayant une charge de travail importante, prescriraient plus d'antibiotiques pour les infections supposées virales et prescriraient plus d'antibiotiques de seconde ou troisième génération en première intention (24). D'autres facteurs culturels ont aussi été évoqués comme le manque d'information des médecins, le désir de satisfaire à la demande du patient, et la pression exercée par le système de santé sur la nécessité de traiter rapidement les demandes des patients (25).

2.1.2. Déterminants de l'adoption des Guides de Bonnes Pratiques Cliniques par les médecins

Une étude, menée aux USA en 2003, a évalué la qualité des soins à l'aide d'indicateurs de qualité (26). Ces indicateurs ont été établis à partir des recommandations et de la littérature. Il en ressort que seulement 54,9 % (IC95% : 54,3 -55,5) des patients ont reçu les soins recommandés. Ceci laisse supposer que les médecins suivent peu les recommandations.

Les obstacles à l'adoption des guides de bonnes pratiques cliniques par les médecins se situent à plusieurs niveaux (6). **Il y a d'une part les obstacles liés aux médecins.**

- Les médecins n'ont pas connaissance du contenu, voire même de l'existence de la recommandation (7). Selon les études, ce critère a été décrit comme un frein à l'adoption des recommandations par 1 à 84% des médecins (médiane : 54,5%) (6).
- Les médecins n'ont pas confiance en le contenu des recommandations (6), qu'ils trouvent trop rigides et limitées à des situations cliniques bien précises (27). Selon eux, ceci rend difficile l'extrapolation des recommandations à leurs propres patients (28). De plus, les médecins reprochent aux autorités d'écrire des recommandations uniquement pour des raisons économiques (diminution des coûts), et non pour améliorer la prise en charge des patients (27,28).
- Les médecins remettent aussi en cause l'intérêt de la recommandation (6). Selon eux, le suivi des recommandations ne mèneraient pas forcément au meilleur résultat, et le bénéfice attendu ne compenserait pas les risques pris par le patient (7). De plus, devant une situation clinique nouvelle, les médecins préfèrent recourir à l'avis d'un spécialiste plutôt que de consulter le guide de bonnes pratique clinique, qui selon eux, ne pourrait pallier à l'expérience d'un clinicien (7).
- Les médecins n'ont pas envie de changer leurs habitudes, et préfèrent se fier à leurs pratiques et expériences cliniques (6).
- Les médecins perçoivent les recommandations négativement : elles diminueraient leur autonomie, et pourraient engendrer des procès à leur encontre (27).

Il y a d'autre part les obstacles liés à des facteurs externes.

- Les obstacles liés au patient : La rigidité de la recommandation, ne permettrait pas de prendre en compte les situations complexes (exemple : patient âgé, conditions sociales défavorables) et/ou les préférences du patient (7).
- Les obstacles liés au format des guides de bonnes pratiques cliniques : les GBPs sont perçus comme contradictoires, avec un format inadapté, difficile à lire et complexe (7).
- Les obstacles liés à des facteurs organisationnels (7) : Les difficultés organisationnelles, telles que le turn-over important des patients et du personnel à l'hôpital, le manque d'équipement, la surcharge de travail ou la mauvaise organisation des soins, constitueraient un frein à l'adoption des recommandations.

2.2. LES SAD EN ANTIBIOTHÉRAPIE

Deux types de SAD peuvent être différenciés en antibiothérapie :

- (i) Les SAD capable de générer automatiquement des recommandations. Ces SAD implémentent un raisonnement médical qui leur permet de générer des recommandations.
- (ii) Les SAD restituant les recommandations provenant des GBPs. Ces SAD associent des tableaux cliniques à des recommandations, sans implémenter le raisonnement médical conduisant à la recommandation.

Nous décrirons successivement ces deux types de SAD dans le domaine de l'antibiothérapie.

2.2.1. Les SAD en antibiothérapie capable de générer automatiquement des recommandations

Dans cette sous-section, nous décrirons les types de raisonnement et les variables de décisions implémentées, ainsi que les modalités de mise à jour, l'évaluation et l'utilisation en pratique clinique courante des SAD capable de générer des recommandations en antibiothérapie.

2.2.1.1. Types de raisonnement implémentés

2.2.1.1.1. Les règles de production (« production rules »)

Rappel sur les règles de production

Les systèmes experts à base de règles de production représentent et utilisent la connaissance de manière déclarative (29). Les règles de production ont été introduites par le logicien Post (30), et ont été utilisées dans de nombreux domaines en médecine.

La connaissance est décrite par un ensemble de règles « Si (Conditions) Alors (Action) » (29,30). Les « conditions » représentent les conditions et les antécédents, et les « actions » représentent les actions à exécuter ou les conséquences. Conditions et actions peuvent être des formules atomiques ou complexes (30). Par exemple, la recommandation « *dans la*

cystite de la femme sans antécédent, il est recommandé de prescrire la fosfomycine trométamol » se traduit en règles de production par « *Si (cystite) et (femme) et (sans antécédent) Alors (prescrire fosfomycine trométamol)* ».

Le système garde en mémoire toutes les règles, et pour chaque situation clinique, vérifie les conditions de chaque règle (29). Lorsque les conditions d'une règle sont toutes « vraies » (c'est-à-dire validées), le système exécute l'action correspondante (29,31) via le moteur d'inférence.

Les règles de production ont l'avantage de permettre de concevoir des systèmes flexibles qui s'adaptent facilement au contexte d'utilisation, et ce dans n'importe quel domaine (31). Elles présentent aussi quelques limites :

- Le temps d'exécution peut être long, puisque le moteur d'inférence passe en revue l'ensemble des règles en mémoire (29). Il a été estimé qu'il passait 90% du temps d'inférence à vérifier les règles (29).
- La séparation entre la base de connaissances et le raisonnement est perdue (31), ce qui peut rendre la maintenance du système plus fastidieuse.
- Les règles de production ne permettent pas de prendre en compte l'incertitude des données (30). Pour pallier cette limite, des coefficients de certitude, compris entre -1 et 1, ont été associés aux règles (30). Ils reflètent le niveau de croyance de l'expert en la règle (30) (exemple (30): *Si (hémoculture = GRAM négatif) et (forme « en bâtonnet ») et (« hôte à risque ») Alors (l'agent infectieux est un pseudomonas) avec un coefficient de certitude de 0,4*).

Exemple : MYCIN

MYCIN est un système expert à base de règles de production utilisé dans le diagnostic et le traitement des maladies infectieuses (32,33). Il a été développé dans les années 1970 à l'université de Stanford par Shortliffe et al. C'est l'un des premiers systèmes experts à avoir montré l'intérêt des règles de production dans la conception d'un système d'aide à la décision (34). MYCIN comprend trois sous-programmes (32) :

- Le programme d'acquisition des règles (32) permet au médecin expert d'entrer de nouvelles règles, et aussi de corriger et modifier des anciennes règles, en utilisant le langage naturel. Plus de 500 règles de production ont été stockées en mémoire (30). Elles sont toutes codées en langage LISP, et traduites en langage naturel pour pouvoir

être affichées de manière compréhensible à l'utilisateur (32). Elles sont associées à un facteur d'incertitude qui quantifie le degré de confiance de l'expert en la règle (33).

- Le programme de consultation « questions/réponses » (32) permet au médecin non expert d'entrer les données de son patient en répondant à une succession de questions, comme par exemple « *De quel site provient le prélèvement ayant une culture positive ?* ». Une fois que le médecin a répondu à l'ensemble des questions, MYCIN sélectionne dans sa base de connaissances les règles de production les plus adaptées au contexte patient, pour générer un conseil (32,33).
- Le programme d'explication (32,33) permet de justifier le conseil généré et d'expliquer les raisons pour lesquelles le système pose une question (« *Pourquoi le système pose-t-il cette question ?* », « *Comment le système a-t-il déduit cela ?* »). Le programme peut être appelé par le médecin, soit pendant le processus de « questions/réponses », soit à la fin du programme lorsque le conseil est généré (32).

La figure 1 montre l'organisation de MYCIN. Le médecin expert assure la maintenance du système en entrant des nouvelles connaissances sous la forme de règles de production. Le médecin non expert interagit avec le système en répondant aux questions sur les données patient. MYCIN utilise les données du patient et les règles pour générer un conseil. À tout moment le médecin non expert peut demander des explications au système.

Exemple : ADVISE

ADVISE est un système d'aide à la prescription pour le traitement des infections documentées par des examens microbiologiques, chez les patients hospitalisés en soins intensifs. Il a été développé en Australie en 2002 par Thursky et al. (35,36).

ADVISE est un système qui fonctionne à partir d'algorithmes basés sur des règles qui ont été écrites pour chaque pathogène (35). Ces règles utilisent le pathogène, le spectre bactérien et les caractéristiques du patient (âge, poids, sexe, créatinine plasmatique) pour générer des recommandations (35). Elles ont été construites à partir de ressources en infectiologie (« *Principles and Practice of Infectious Diseases* » par Mandell et al., et « *The Sandord Guide to Antimicrobial Therapy* » par Gilbert et al.) (35).

Le système génère les recommandations en utilisant les résultats des examens microbiologiques obtenus à partir du système d'information hospitalier, ainsi que les

données du patient entrées par le médecin (35). Lorsque l'antibiogramme n'est pas encore disponible, il utilise les données sur les sensibilités bactériennes locales. Il est connecté à une base médicamenteuse, ce qui lui permet de fournir les posologies des antibiotiques adaptées au terrain patient (35).

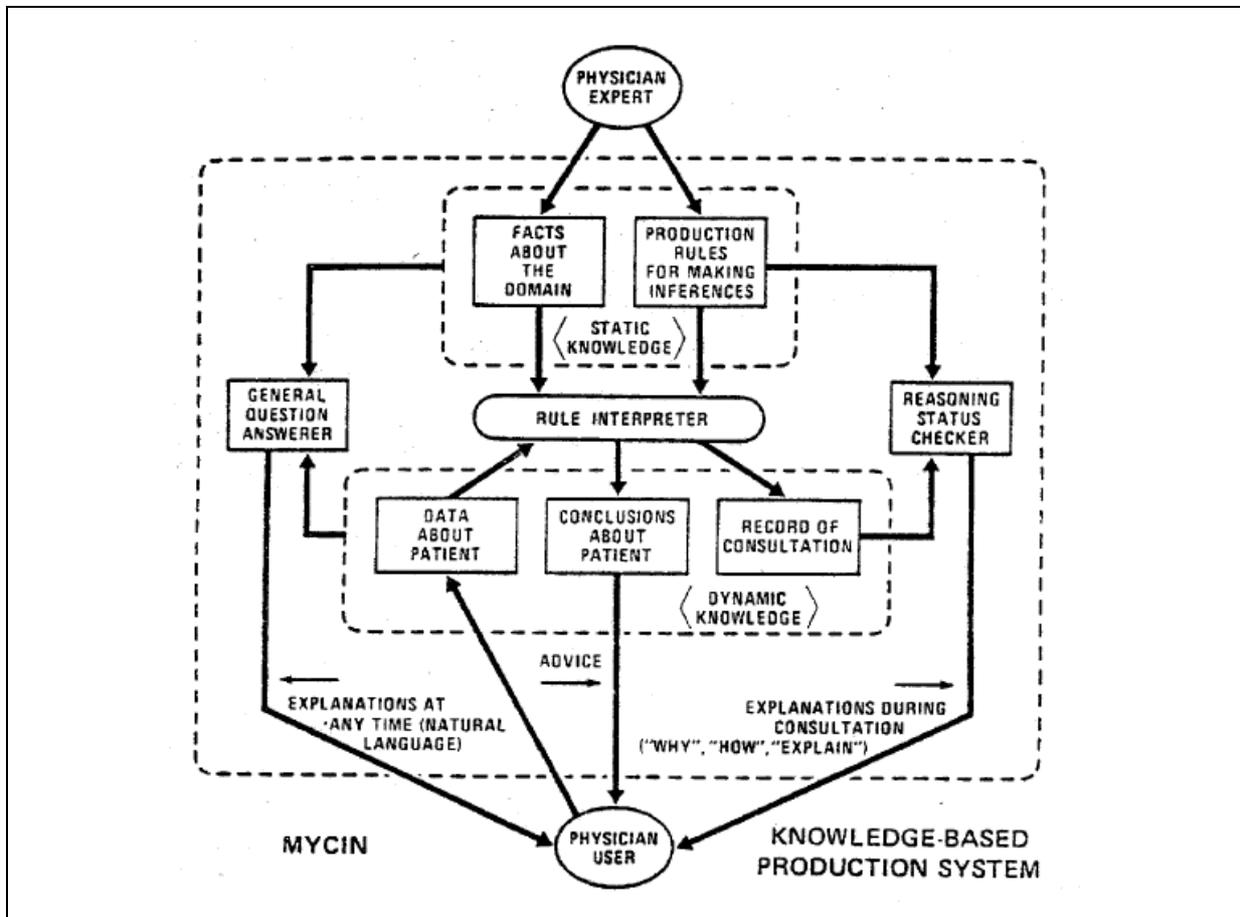


Figure 1 : MYCIN – Interaction avec le médecin expert et non expert (33) – Le médecin expert peut mettre à jour le système en entrant de nouvelles règles de production, et le médecin non expert peut être aidé lors de la prescription d'antibiotiques en consultant le système.

2.2.1.1.2. Le raisonnement basé sur les cas (« Case based reasoning »)

Rappel sur le raisonnement basé sur les cas

Le raisonnement basé sur les cas, repose sur le principe que les « problèmes similaires » ont les « mêmes solutions » (37). Il résout un problème actuel en le comparant et en l'adaptant à des cas similaires rencontrés dans le passé (37–39). Ainsi, c'est la connaissance subjective du clinicien, c'est-à-dire celle acquise au travers de la pratique clinique, qui est utilisée (39). Le raisonnement basé sur les cas a été introduit dans les

années 1980 à l'université de Yale, et a été beaucoup utilisé dans le domaine du diagnostic, et peu dans celui de la thérapeutique (40,41).

Le raisonnement basé sur les cas comprend deux tâches (39).

La première tâche consiste à retrouver les cas les plus similaires au problème actuel (39). Pour cela, plusieurs méthodes de recherche ou de calcul sophistiquées ont été développées dans différents domaines (calcul séquentiel, algorithmes de classification, etc.) (39). Ces méthodes recherchent le degré de similarité entre les cas, en s'appuyant sur des caractéristiques qualitatives et/ou quantitatives (38).

La seconde tâche consiste à adapter les solutions des cas similaires au problème actuel (39). S'il y a peu de différences entre les cas et le problème actuel, alors l'adaptation n'est pas nécessaire (39). En revanche, s'il y a des différences, l'adaptation est nécessaire (39). Les méthodes d'adaptation sont spécifiques au domaine, et ne peuvent être généralisées (37,39).

Ce type de raisonnement présente plusieurs avantages :

- Il permet d'apprendre à partir des cas (38).
- Il fournit une réponse rapide (38).
- Il prend en compte l'expérience clinique des médecins (39).
- La mise à jour des nouveaux cas est simple au sein d'un système d'information hospitalier, puisque tous les cas sont automatiquement stockés (39).

Le raisonnement basé sur les cas présente aussi des limites, notamment :

- La tâche d'adaptation est complexe (39). Pour pallier cette limite, certains systèmes proposent de ne pas prendre en compte cette deuxième tâche, et de se limiter à la recherche des cas similaires (39). L'ensemble des cas est alors présenté au médecin, qui utilise son propre raisonnement pour adapter les solutions proposées au problème actuel. D'autres systèmes proposent de combiner le raisonnement basé sur les cas avec d'autres méthodes de raisonnement (exemple : le raisonnement à base de règles) (39).
- Les cas sont nombreux et souvent très spécifiques à une situation précise, ce qui peut poser des problèmes de redondance des cas dans la base, ou de temps de réponse du système (plus il y a de cas stockés, plus le temps de réponse est long) (39). Pour pallier cette limite, il est possible de hiérarchiser les cas, du plus générique au plus

spécifique : tous les cas similaires sont groupés au sein d'un même prototype possédant des caractéristiques prédéfinies (37,39).

Exemple : ICONS

ICONS est un système de conseil en antibiothérapie empirique pour les patients en soins intensifs, fondé sur le « raisonnement basé sur les cas » (« *Case-based reasoning* ») (42). Il s'inscrit dans le cadre d'un projet financé en partie par le ministère de la recherche et de la technologie allemand entre 1993 et 1996 (37).

ICONS possède 3 modules.

Le premier module est utilisé pour générer le conseil en antibiothérapie (37) de deux manières (38) (Figure 2).

La première manière consiste à déterminer l'antibiotique approprié à partir de la connaissance de fond (« Background knowledge »). D'abord, le système établit l'ensemble des bactéries potentiellement responsables de l'infection, en fonction des données générales patient et de l'organe infecté. Puis, il génère une première liste d'antibiotiques considérés comme efficaces sur ces bactéries (37,38). Cette liste est ensuite réduite à une seconde liste en fonction des contre-indications patient et de la concentration tissulaire des antibiotiques dans l'organe infecté (37,38). Puis, cette seconde liste est réduite à une troisième liste en fonction des fréquences de résistances acquises des bactéries pour les antibiotiques (37,38). Cette troisième liste est proposée au médecin qui doit alors choisir parmi les antibiotiques proposés. Pour l'aider à faire son choix, des éléments tels que le coût journalier sont affichés (37,38). Lorsque le médecin a choisi l'antibiotique à prescrire, ICONS calcule la dose recommandée en fonction du débit de filtration glomérulaire, du poids et de l'âge du patient (38). Le temps estimé pour générer un conseil à partir de la connaissance de fond est de trois minutes (38).

La deuxième manière consiste à rechercher l'antibiotique approprié à partir de la connaissance sur les cas (« Knowledge of prototypes/cases ») (37). Les cas sont représentés sous la forme d'une hiérarchie de cas : les cas partageant les mêmes caractéristiques patient et le même organe infecté sont groupés au sein du même prototype (37). La recherche de l'antibiotique approprié s'effectue en trois étapes (37). D'abord, ICONS recherche le prototype contenant les cas similaires au cas étudié (37). Puis, il recherche les cas similaires

en termes de contre-indications patient (37). Enfin, il vérifie que les cas similaires retrouvés n'ont pas de contre-indications additionnelles par rapport au cas étudié (38).

En pratique, pour donner un conseil en antibiothérapie, ICONS utilise d'abord la « connaissance sur les cas ». Si aucun cas similaire ne peut être trouvé, alors il utilise la « connaissance de fond » pour calculer les antibiotiques appropriés (38).

Le deuxième module appelé « RESISTANCE » fournit les fréquences de résistance acquise en fonction des antibiogrammes du laboratoire de microbiologie de l'hôpital (37).

Le troisième module appelé « ABINI » fournit les dosages adaptés à la situation clinique et à l'antibiotique (37).

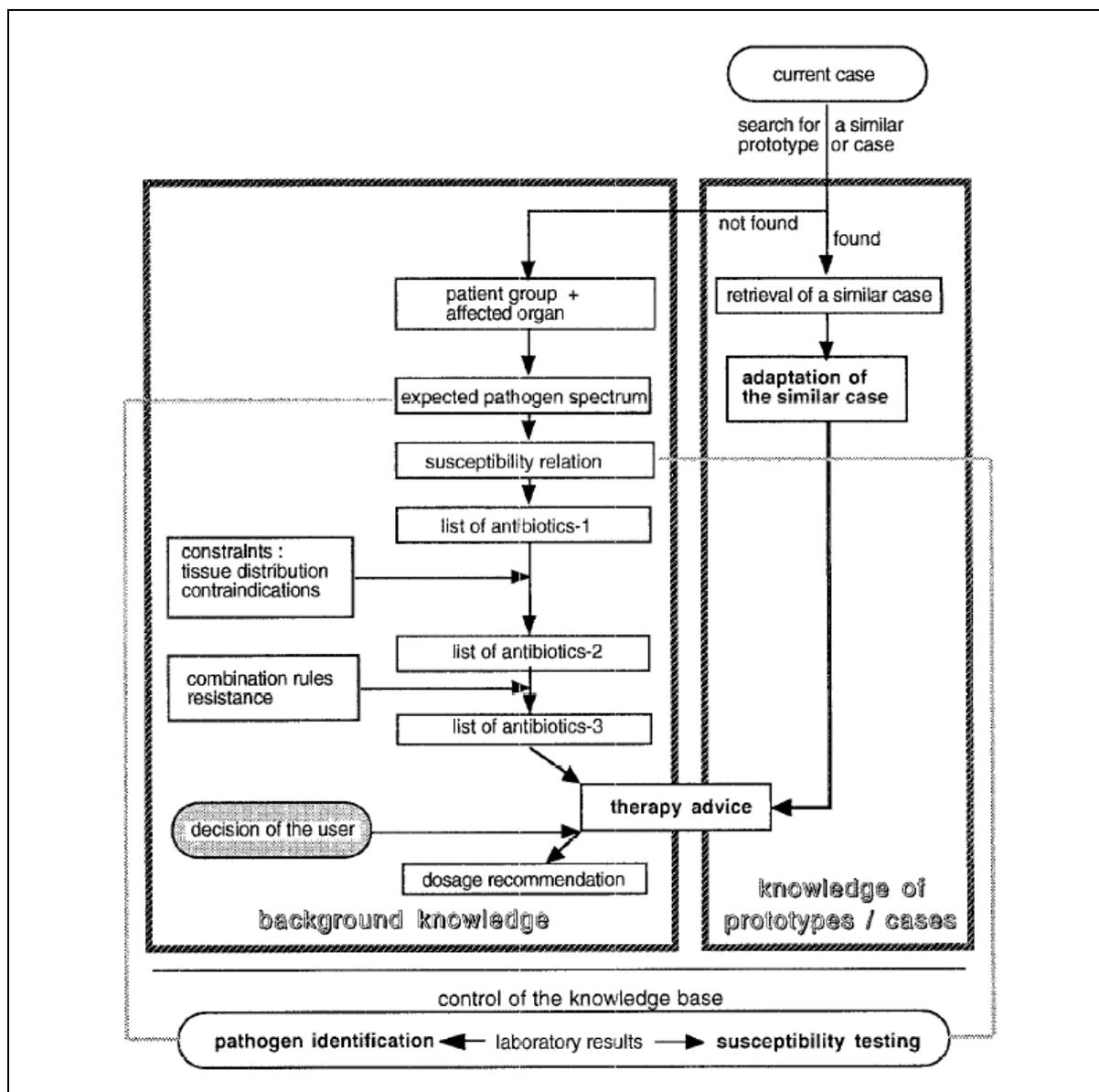


Figure 2 : ICONS peut générer un conseil en antibiothérapie de deux manières : soit en utilisant la connaissance sur les cas (« knowledge of prototypes/cases »), soit en utilisant la connaissance de fond (« background knowledge ») (38).

2.2.1.1.3. La logique floue (« fuzzy logic »)

Rappel sur la logique floue

La logique floue utilise l'imprécision de l'information pour générer des décisions. Elle a été introduite en 1965 par Zadeh et al (43), et a été utilisée dans de nombreux domaines en médecine (prédiction, diagnostic, thérapeutique, etc.)

La logique floue permet de prendre en compte la perception humaine dans un système (44). Elle représente la connaissance sous la forme d'un modèle conceptuel où les concepts ne sont pas associés à des valeurs exactes, mais à des valeurs imprécises (44).

Dans ce modèle, chaque concept (« fuzzy variable ») est associé à plusieurs sous-ensembles, appelés termes (« fuzzy terms ») (45). Selon la valeur du concept, on associe à chaque terme un chiffre pouvant varier de 0 à 1, qui permet de quantifier la force de la relation entre la valeur du concept et le terme (45). Par exemple (Figure 3) (45), le concept « fréquence cardiaque » est associé à trois termes « basse », « moyenne » ou « haute », et peut prendre plusieurs valeurs comprises entre 0 et 150. Pour une valeur de la fréquence cardiaque de 120/min, on associe le chiffre 1 au terme « haute », et le chiffre 0 aux termes « moyenne » et « basse ». Ce qui signifie que la valeur « 120/min » de la fréquence cardiaque est très fortement liée au terme « haute », et très faiblement liée aux termes « moyenne » ou « basse ».

La modélisation de la connaissance médicale en logique floue utilise la connaissance d'experts ou des guides sous la forme de règles « Si ... Alors », pour identifier les concepts et les termes, et pour établir la force des relations qui les lient (45). Une fois la connaissance modélisée, les données extérieures peuvent être entrées dans le système, et le système peut inférer une décision médicale (44).

La logique floue présente quelques avantages. Le raisonnement s'appuie sur le langage naturel, en utilisant des variables linguistiques (ex : « haute », « basse ») et non numériques. Ceci permet de représenter la connaissance de manière simple et facile à comprendre pour les cliniciens (44). De plus, cette approche est intéressante en médecine, puisque dans ce domaine, les informations sont bien souvent manquantes et/ou imprécises et/ou incertaines (46).

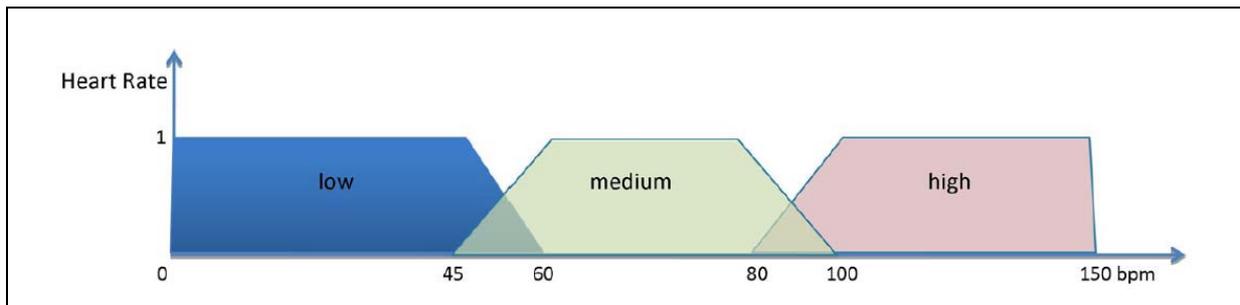


Figure 3 : La logique floue – Exemple de la fréquence cardiaque (45) – Selon la valeur de la fréquence cardiaque, on associe un chiffre de 0 à 1 aux différents termes « low », « medium », « high ». Ce chiffre quantifie la force de la relation entre la valeur de la fréquence cardiaque et le terme.

Exemple FCM-uUTI DSS

FCM-uUTI DSS est un outil pour le traitement empirique des infections urinaires causées uniquement par *Escherichia coli*, basé sur les cartes cognitives floues (« Fuzzy Cognitive Maps ») (44,47). Il a été créé dans le cadre du projet européen DebugIT (2008-2011) dont l'objectif est de surveiller l'émergence de résistances bactériennes en utilisant les techniques de fouilles de données sur les bases de données hospitalières (48). Les nouvelles connaissances obtenues grâce aux résultats de la fouilles de données, sont stockées dans un répertoire, et pourraient être utilisés dans un système d'aide à la décision (48).

Les guides de bonnes pratiques des infections urinaires sont formalisés selon un modèle comprenant 47 concepts (ex : effets indésirables, contre-indications) (44). Chaque concept peut prendre trois valeurs arbitraires (0 ; 0,5 ou 1) selon la présence ou l'absence du concept dans la situation clinique (ex : si le concept est présent, alors il prend la valeur de 1) (44). Les concepts sont ensuite reliés entre eux par des règles « Si ... Alors », et la force des relations qui les lient, est quantifiée par un chiffre représentant le poids de la relation (44). Par exemple (Figure 4) (44), la règle « Si (Femme enceinte) Alors (Nitrofurantoïne) » est quantifiée à +0,9, ce qui signifie que la relation est « très très forte ». Tous les poids sont stockés dans une matrice de poids qui est utilisée lors de l'inférence (44).

L'outil a été implémenté en Matlab R2008a, et prend en compte les conditions patient lors de l'inférence (44). Il présente les résultats sous forme d'une liste d'antibiotiques appropriés ordonnée, avec un certain poids associé à chacun des antibiotiques (44).

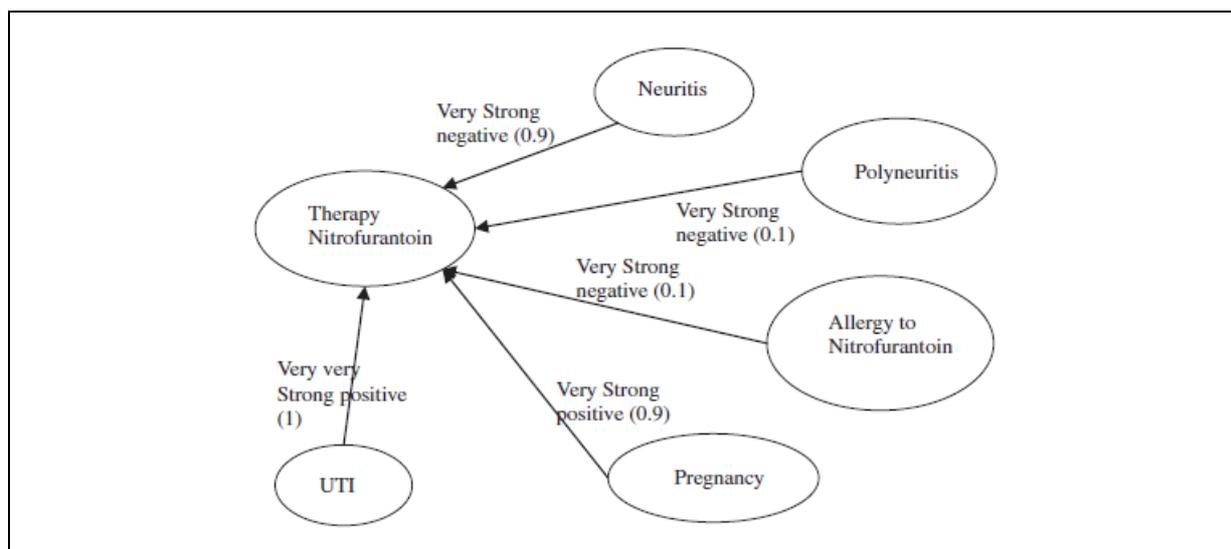


Figure 4: FCM-uUTI DSS - Modélisation du traitement par Nitrofurantoin en carte cognitive floue (47).

2.2.1.1.4. Les réseaux Bayésien (« Bayesian networks »)

Rappel sur les réseaux Bayésiens

Les réseaux Bayésiens ou réseaux probabilistes sont utilisés pour représenter l'incertitude (49) sous forme de graphe. Ils ont été introduits dans les années 1980, et ont été très utilisés en médecine (49) notamment dans le domaine du raisonnement diagnostique, pronostique et thérapeutique, et aussi dans la recherche de nouvelles relations entre différentes variables (ex : en biologie moléculaire pour la recherche des interactions entre différents gènes).

Le réseau Bayésien représente les connaissances sous la forme d'un graphe orienté acyclique composé de nœuds et d'arcs (49). Chaque nœud représente une variable qui peut prendre un nombre fini de valeurs (49). L'arc qui relie deux nœuds, est associé à une probabilité fonction de la valeur des nœuds. Les différentes probabilités de chaque arc, sont regroupées dans une table de probabilités (49). Par exemple, la figure 5 représente le réseau bayésien pour le diagnostic d'infection urinaire (10). L'arc entre le nœud « UTI » (Infection urinaire) et le nœud « leukocyturia » (leucocyturie) est lié à une table de probabilités conditionnelles (10) : en cas d'infection urinaire, la probabilité d'avoir une leucocyturie est de 0,85 ; alors qu'elle est de 0,01 en l'absence d'infection urinaire.

La construction d'un réseau Bayésien peut se faire de deux manières (49). La première est manuelle, et fait appel à l'intervention d'un expert (49). Elle suit alors plusieurs étapes

(49). D'abord, l'expert du domaine sélectionne les variables pertinentes. Puis, il établit les relations de dépendance (logiques ou probabilistes) et d'indépendance entre ces variables. Ensuite, les probabilités de distribution entre les différentes variables sont estimées. Enfin, le réseau est testé en utilisant des données patient. La deuxième manière est automatique en utilisant des algorithmes d'apprentissage à partir des données médicales, et cela sans la nécessité de l'intervention d'un expert du domaine (49).

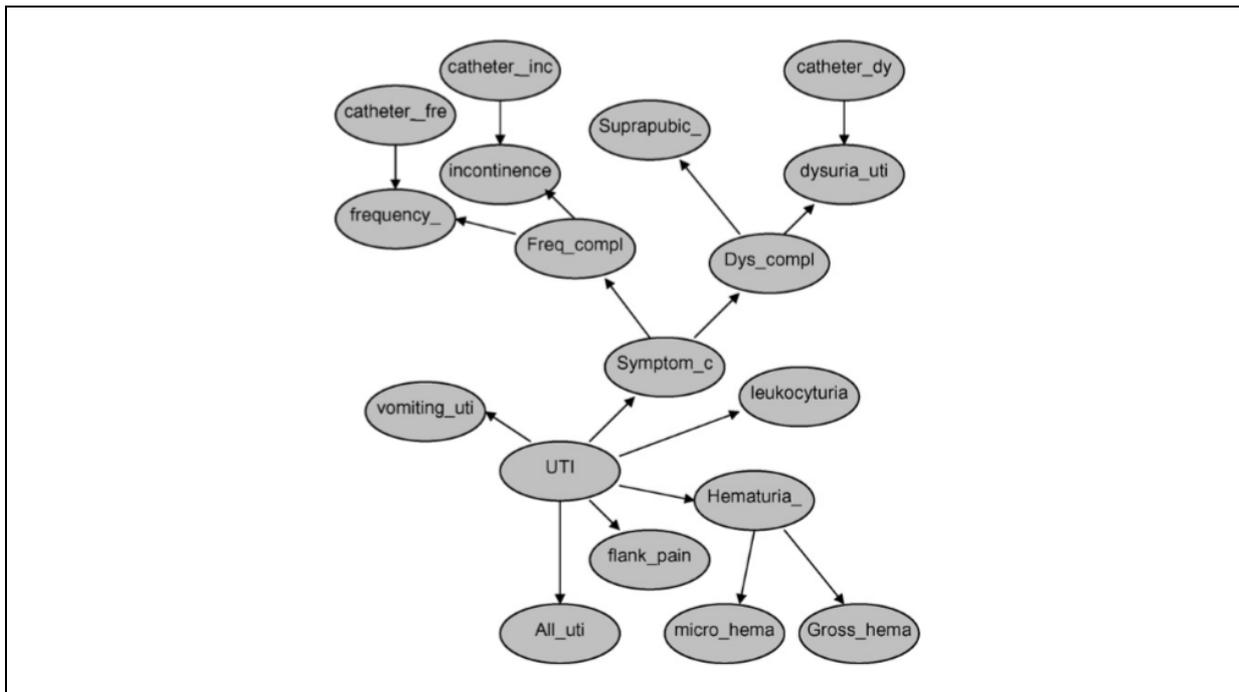


Figure 5 : Réseau Bayésien – Exemple de l'infection urinaire (10) – Les connaissances sont représentées sous la forme d'une graphe orienté acyclique.

Les réseaux bayésiens présentent plusieurs avantages :

- C'est une méthode efficace pour représenter l'incertitude (50) et les modèles complexes (10).
- Il permet de représenter les connaissances de manière explicite et compréhensible par tous, grâce à la représentation sous forme de graphes (50,51).
- Les connaissances provenant de différentes sources peuvent être intégrées dans le modèle, grâce à la représentation en réseau (10,50,51).
- Le modèle peut être utilisé même si des données sont manquantes (10,50).
- Le temps d'exécution des systèmes utilisant cette approche est court (51).

En revanche, une des limites est qu'aucune distinction n'est faite entre les différentes relations qu'il peut y avoir entre deux nœuds : seules les relations de probabilités peuvent être représentées (31). De plus, il est difficile d'évaluer la validité du modèle.

Exemple : TREAT

TREAT est un système d'aide à la décision en antibiothérapie empirique pour les patients hospitalisés atteints d'affection bactérienne, basé sur les réseaux causaux probabilistes (« causal probabilistic networks ») (10). Il s'est inscrit dans le cadre d'un projet financé par le 5^{ème} Programme Cadre de Recherche et de Développement de l'Union Européenne, mené dans plusieurs pays (Allemagne, Italie, Israël, Danemark, etc.) en 2006.

L'algorithme de TREAT comprend deux parties (52) :

- Le cœur du modèle est un réseau causal probabiliste où les entités sont reliées par des relations selon des probabilités conditionnelles (53). Le réseau permet de calculer quelles sont les bactéries les plus probablement responsables de l'infection en fonction de (53) : l'endroit d'acquisition de l'infection (communautaire, nosocomial), du site d'infection (ex : urinaire), des conditions patient (ex : présence d'une valve mécanique), des symptômes cliniques (ex : brûlure urinaire), et des résultats des examens paracliniques.
- Un modèle « coût-bénéfice » qui calcule pour chaque antibiotique la balance bénéfique/coût attendue. Le bénéfice d'un antibiotique est déterminé selon le gain de survie (en jours) et le temps de réduction du séjour hospitalier estimés si l'on prescrit l'antibiotique (53). Le coût d'un antibiotique est calculé en fonction du type d'antibiotique et de sa voie d'administration, des effets indésirables, du risque d'émergence de résistance individuel et collectif, et des habitudes locales des cliniciens (53).

Le système TREAT fonctionne de la manière suivante. D'abord, il utilise les données patients, les symptômes cliniques, et les examens paracliniques pour déterminer les bactéries les plus probablement en cause dans l'infection (10). Ces données peuvent être récupérées d'un dossier patient électronique (10). Puis, il détermine la couverture des antibiotiques vis-à-vis de ces bactéries (10). Enfin, il recommande les antibiotiques à prescrire en choisissant les antibiotiques ayant la meilleure balance bénéfico-coût (10).

2.2.1.1.5. Les réseaux neuronaux (« Artificial neural networks »)

Rappel sur les réseaux neuronaux

Les réseaux de neurones s'inspirent du réseau neuronal humain pour fournir une réponse à un problème donné. Ils utilisent l'expérience acquise à travers des cas pour apprendre et adapter la réponse au problème rencontré. Ils ont été introduits en 1988 par Szolovits et al. (54), et ont été utilisés dans de nombreux domaines en médecine, tels que le diagnostic (54), l'imagerie, les modèles prédictifs (55).

Les réseaux de neurones sont la représentation mathématique du réseau neuronal humain (54). Ils sont constitués d'un ensemble de « neurones » organisés en plusieurs couches (54). Chaque neurone est connecté au neurone de la couche suivante par une connexion (« synapse ») quantifiée par un poids. Ce poids représente la force de connexion entre deux neurones (54).

Les neurones de la couche d'entrée (« input layer ») reçoivent les données et les communiquent aux neurones de la première couche cachée (« hidden layer ») via les synapses et en fonction du poids (54). Les données sont ensuite transmises de la même manière aux couches cachées suivantes, jusqu'à arriver à la dernière couche de sortie (« output layer ») qui fournit la réponse au problème initial en fonction des données d'entrée initiales (Figure 6) (54).

L'apprentissage des réseaux neuronaux s'effectue à partir d'une matrice de données (54). La matrice de données contient un ensemble de cas à partir desquels le réseau neuronal va apprendre et rechercher une fonction qui lie les données en entrée et les résultats en sortie (54). Par exemple, sur la figure 7 (54), on voit une matrice de données où chaque ligne représente un patient. Pour chaque patient, selon les valeurs des données médicales, le diagnostic peut être positif ou négatif. Le réseau neuronal va chercher une fonction qui lie ces données médicales (données en entrée) au résultat du diagnostic (données en sortie).

Les réseaux de neurone sont vus comme une boîte noire puisqu'ils permettent de fournir une réponse en fonction des données d'entrée, sans pouvoir le justifier d'une manière facilement compréhensible pour l'humain (54).

Grâce à leur capacité d'apprentissage et de généralisation, ils sont capables de détecter des relations « cachées » entre les variables d'entrée, et de résoudre des

problèmes complexes non résolus par les systèmes habituels (55). Néanmoins, ils présentent quelques limites :

- Ils ne permettent pas de fournir des explications compréhensibles sur le résultat fourni (« boîte noire ») (55).
- Le temps d'inférence est souvent long (de quelques heures à quelques jours) (55).
- Il n'existe pas encore de méthodologie fiable permettant d'assurer que le réseau neuronal construit pour une application est le meilleur et le plus adapté (55).

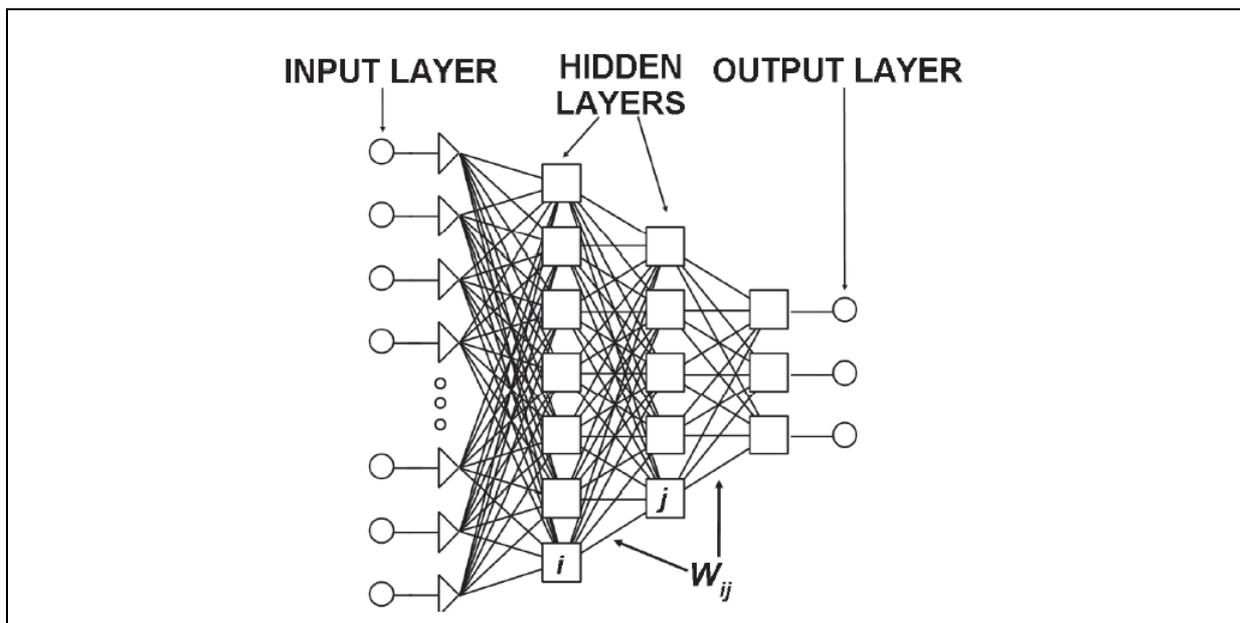


Figure 6 : Architecture des réseaux neuronaux (54) – Les réseaux neuronaux sont constitués de plusieurs couches de neurones, reliés par des synapses. Les données rentrent dans la couche d'entrée (« input layer »), et sortent dans la couche de sortie (« output layer »).

Patient code	MEDICAL DATA	DIAGNOSIS
1	data _{1,1} ... data _{1,i} ... data _{1,m}	POSITIVE
2	data _{2,1} ... data _{2,i} ... data _{2,m}	POSITIVE
3	data _{3,1} ... data _{3,i} ... data _{3,m}	POSITIVE
...
k	data _{k,1} ... data _{k,i} ... data _{k,m}	NEGATIVE
k+1	data _{k+1,1} ... data _{k+1,i} ... data _{k+1,m}	NEGATIVE
...
n	data _{n,1} ... data _{n,i} ... data _{n,m}	NEGATIVE

Figure 7 : Matrice de données des réseaux neuronaux (54) – L'apprentissage des réseaux neuronaux se fait à partir d'une matrice de données.

Exemple : SAD de Padhi et al.

En antibiothérapie, Padhi et al. (56) ont développé un système pour le traitement des maladies infectieuses basé sur les réseaux neuronaux, prenant en compte la concentration plasmatique des bactéries, des cellules immunitaires et des anticorps, et une valeur numérique reflétant l'atteinte de l'organe affecté. Notre revue de la littérature n'a pas retrouvé plus d'information concernant ce système.

2.2.1.1.6. SAD implémentant différents types de raisonnement

Exemple : SAD d'Evans et al. intégré dans HELP

Evans et al. ont développé dans les années 1990 un système d'aide à la décision intégré dans le système d'information HELP de l'hôpital LDS à Salt Lake City, destiné à améliorer les prescriptions d'antibiotiques en traitement empirique, documenté et prophylactique (57). Le système avait la particularité de pouvoir être consulté de l'hôpital ou de l'extérieur (58).

Les recommandations de bonnes pratiques sont traduites sous forme de règles, d'algorithmes et de modèles prédictifs (57).

Le système détermine d'abord le pathogène le plus probablement en cause pour un patient donné, en recherchant quels pathogènes étaient responsables de la même infection chez les patients hospitalisés dans les 5 dernières années et ayant les mêmes caractéristiques que le patient à traiter (58) (les caractéristiques comparées étant le diagnostic, le nombre de leucocytes, la température, les données chirurgicales, la radiographie du thorax, les sérologies et les données microbiologiques). Puis il affiche les cinq antibiotiques possiblement efficaces, et suggère un antibiotique approprié en fonction de la sensibilité du pathogène, du site d'infection, des allergies, de la fonction rénale, des interactions médicamenteuses, des effets indésirables et du coût (58,59). Les posologies, voies d'administration et durée de traitement sont aussi fournies.

Exemple de Q-ID

Q-ID a été développé en 1995 à l'université de l'Utah, pour aider au diagnostic et au traitement empirique des maladies infectieuses. La base de connaissance (60) contient des

informations concernant la probabilité d'une maladie en fonction du profil patient, le risque de morbi-mortalité avec ou sans traitement, la fraction de patients susceptibles de répondre au traitement et le coût du traitement. Q-ID calcule d'abord la probabilité qu'un patient soit affecté par un pathogène (60). Puis il évalue la balance bénéfice/risque de chaque antibiotique en fonction des fréquences de résistances acquises, des risques liés à la prise du médicament et du bénéfice attendu en termes de morbi-mortalité (60).

2.2.1.2. Variables décisionnelles utilisées dans le raisonnement

Pour générer des recommandations, les SAD s'appuient sur différents types de variables décisionnelles.

2.2.1.2.1. Les données patient

Les recommandations sont souvent générées en fonction des données patient (MYCIN, SAD d'Evans et al., ICONS, ADVISE, Q-ID). Certaines sont utilisées pour l'orientation étiologique de la bactérie en cause : sexe (35,36), température (57–59), symptômes cliniques (10,52,53,61), nombres de leucocytes (57–59), données chirurgicales (57–59), radiographie du thorax (57–59), sérologie (57–59). D'autres sont utilisées pour l'orientation thérapeutique en prenant en compte d'éventuelles contre-indications : âge (35,38), poids (35,38), clairance de la créatinine plasmatique (35,38,59), traitement en cours (57–59).

2.2.1.2.2. Les données microbiologiques et épidémiologiques

Certains SAD génèrent des recommandations en fonction du pathogène en cause (10,35,59), de sa sensibilité obtenue à partir des résultats des examens microbiologiques (35,36,57–59), ou à partir d'une extrapolation des données des sensibilités bactériennes locales (35,38,59,60), et du spectre d'activité des antibiotiques (35).

2.2.1.2.3. Les données médicamenteuses

Certains SAD utilisent des données liées aux médicaments pour générer des recommandations, telles que : la concentration tissulaire des antibiotiques (38,59), les effets indésirables (10,59), le mode d'administration (10,52,53,61), le coût (10,38,59,60).

2.2.1.2.4. Les autres données

D'autres types de données ont été utilisés par les SAD pour générer des recommandations : le gain de survie en jours (10,52,53,61), le temps de réduction du séjour hospitalier (10,52,53,61), le risque de morbi-mortalité avec ou sans traitement (60), la fraction de patients susceptibles de répondre au traitement (60), le risque d'émergence de résistance liée à l'utilisation de l'antibiotique (10,52,53,61), et les habitudes locales des cliniciens (10,52,53,61).

2.2.1.2.5. Tableau récapitulatif

Le tableau 1 récapitule les variables décisionnelles utilisées dans les SAD en antibiothérapie.

Tableau 1 : Variables décisionnelles utilisées pour générer des recommandations. Le tableau n'est pas exhaustif, et repose uniquement sur les éléments que nous avons retrouvés dans la littérature.

	Variables décisionnelles	Exemples SAD
Données patients	sexe	ADVICE
	âge	ICONS, ADVICE
	poids	ICONS, ADVICE
	température	Evans
	symptômes cliniques	TREAT
	nombres de leucocytes	Evans
	données chirurgicales	Evans
	radiographie du thorax	Evans
	sérologie	Evans
	clairance de la créatinine plasmatique	Evans, ICONS, ADVICE
	traitement en cours	Evans
Données microbiologiques	pathogène	Evans, ADVICE, TREAT
	spectre d'activité des antibiotiques	ADVICE
	sensibilité obtenue à partir des résultats des examens microbiologiques	Evans, ADVICE
	sensibilité obtenue à partir d'une extrapolation des données des sensibilités bactériennes	Evans, ICONS, ADVICE, Q-ID
Données pharmacologiques	concentration tissulaire des antibiotiques	Evans, ICONS
	effets indésirables	Evans, TREAT
	mode d'administration	TREAT
	coût	Evans, ICONS, TREAT, Q-ID
Autres données	gain de survie en jours	TREAT
	temps de réduction du séjour hospitalier	TREAT
	risque de morbi-mortalité avec ou sans traitement	Q-ID
	fraction de patients susceptibles de répondre au traitement	Q-ID
	risque d'émergence de résistance	TREAT
	habitudes locales des cliniciens	TREAT

2.2.1.3. Types de mise à jour

Notre revue de la littérature a retrouvé très peu d'information concernant les modalités de mise à jour des différents SAD destinés à l'antibiothérapie.

Quelques auteurs ont mentionné la mise à jour automatique de certains éléments de la base de connaissance à partir du système d'information hospitalier. Par exemple, les données sur les sensibilités bactériennes sont obtenues à partir des résultats d'examens microbiologiques, et sont mises à jour à des fréquences pouvant aller de toutes les 30 minutes (35) à 1 fois par mois (59).

D'autres auteurs ont évoqué la mise à jour manuelle par les experts de certains éléments du SAD telles que les règles de production (33), les informations concernant de nouveaux médicaments (38), la pharmacocinétique (concentration tissulaire, demi-vie, élimination rénale) (38), les effets indésirables (38), les contre-indications (38), etc.

2.2.1.4. Evaluation

Les paramètres mesurés lors de l'évaluation des différents SAD, sont variables d'une étude à l'autre.

Certains SAD ont été évalués sur le nombre de situations cliniques pour lesquelles ils arrivaient à retrouver les antibiotiques recommandés. MYCIN retrouvait les antibiotiques recommandés par les experts dans le traitement de la méningite dans 65% des cas (62). FCM-uUTI DSS, évalué pour 55 situations cliniques, retrouvait les antibiotiques recommandés dans les GBPs pour 91% des situations cliniques (47).

D'autres ont été évalués sur la qualité des prescriptions. TREAT a permis (i) d'améliorer la prescription appropriée d'antibiotiques (70% des prescriptions étaient appropriées avec TREAT versus 57% sans TREAT) (53) ; (ii) de recommander des antibiotiques à spectre plus étroit et à moindre coût écologique (53,61). ADVISE a permis une diminution significative de la prescription de carbapénèmes, de céphalosporines de troisième génération et de vancomycine ; une diminution de 10,5% du nombre total d'antibiotiques prescrits ; un changement de comportement des médecins qui préféraient prescrire des antibiotiques à spectre étroit (35) ; et une diminution de la résistance du *Pseudomonas* à l'imipenem et à la gentamicine (63).

Le SAD d'Evans et al. a été évalué sur plusieurs critères. Les prescriptions d'antibiotiques, les effets indésirables, le coût de la prise en charge, et la durée

d'hospitalisation, ont été comparés avant et après la mise en place du SAD. L'évaluation a été menée en pratique clinique courante à l'hôpital LDS, en 1998, sur plus de 1000 patients. Les résultats ont été publiés dans le *New England Journal of Medicine* et ont montré que le système améliorait la qualité des soins et réduisait les coûts (59).

2.2.1.5. Utilisation en pratique clinique courante

Notre revue de la littérature a retrouvé très peu d'information concernant l'utilisation des SAD en pratique clinique courante.

MYCIN est resté un logiciel prototype et n'a pas été utilisé en pratique clinique courante pour des raisons éthiques et médico légales (30), et aussi à cause de son temps de consultation trop long (jusqu'à 30 minutes).

Certains SAD ont été implémentés de manière à obliger le médecin à les consulter. Par exemple, le SAD d'Evans et al., implémenté dans le HELP system, s'actionne automatiquement à chaque fois qu'un antibiotique est prescrit (59). Il est donc obligatoirement utilisé par les médecins.

D'autres SAD ont été implémentés de manière à laisser le choix au médecin de les utiliser ou pas. Certains auteurs décrivent un nombre d'utilisation : par exemple, ADVISE a été utilisé 6028 fois par les cliniciens sur une période de six mois (35).

2.2.1.6. Synthèse (tableau 2)

Les SAD en antibiothérapie capable de générer automatiquement des recommandations implémentent différents types de raisonnement : les règles de production (MYCIN, SAD d'Evans et al., ADVISE), le raisonnement basé sur les cas (ICONS), la logique floue (FCM-uUTI DSS) ou les réseaux Bayésien (TREAT, SAD d'Evans et al.)

Ils s'appuient sur différents types de variables décisionnelles : les données patient, les données microbiologiques et épidémiologiques, les données médicamenteuses ou d'autres types de données telles que le gain de survie.

Les modalités de mise à jour et l'utilisation en pratique clinique courante de ces SAD ont été peu décrites dans la littérature.

L'évaluation de certains de ces SAD a montré qu'ils permettaient d'améliorer la qualité des soins et réduisait les coûts.

Tableau 2 : SAD capables de générer des recommandations. Le tableau n'est pas exhaustif, et repose uniquement sur les éléments que nous avons retrouvés dans la littérature.

	Types de raisonnement					Mise à jour		Evaluation	Utilisation
	Règles de production	Raisonnement basé sur les cas	Logique floue	Réseaux Bayésien	Réseaux neuronaux	manuelle	automatique		
MYCIN	x					x		x	x
SAD d'Evans et al.	x			x			x	x	x
ICONS		x				x			
ADVICE	x						x	x	x
TREAT				x				x	
FCM-uUTI DSS			x					x	

2.2.2. Les SAD en antibiothérapie restituant les recommandations issues des Guides de Bonnes Pratiques Cliniques

Dans cette sous-section, nous décrivons les formalismes d'implémentation des GBPs, puis les modalités de mise à jour, l'évaluation et l'utilisation en pratique clinique courante des SAD restituant les recommandations des GBPs en antibiothérapie.

2.2.2.1. Types de formalismes d'implémentation des GBPs

2.2.2.1.1. Description brève des formalismes d'implémentation des GBPs

La syntaxe Arden

La syntaxe Arden est un standard reconnu pour représenter, standardiser et partager la connaissance médicale dans un format exécutable, utilisable dans les systèmes d'information (64,65). Elle a été développée en 1989 (64,66), et adoptée en 1999 par la communauté HL7 (65).

La syntaxe Arden ressemble à celle du Pascal (64). Elle représente les connaissances des guides de bonnes pratiques cliniques sous la forme de règles procédurales indépendantes, appelées MLM (Modules Logiques Médicaux) (30,67). Chaque MLM est un fichier ASCII comprenant 3 parties (64,68) :

- La partie « maintenance » et la partie « library », qui décrivent les caractéristiques du guide de bonnes pratiques.
- La partie « knowledge », qui décrit la logique du MLM. Elle contient 5 sous parties :
 - o « type » ;
 - o « data » correspondant aux valeurs du dossier patient ;
 - o « evoke » correspondant au contexte dans lequel le MLM doit être exécuté ;
 - o « logic » contenant les critères de décision menant à une action ;
 - o « action » contenant l'action à exécuter.

L'inférence des données repose sur la prise en compte des règles « Si ... Alors ».

PROforma

PROforma modélise les GBPs selon les tâches à réaliser (64). Il a été développé en 1992 par le Imperial Cancer Research (John Fox, Sutton et al.) (64,66).

Le modèle PROforma ou « PROforma task ontology » représente la connaissance des guides de bonnes pratiques cliniques sous la forme d'un ensemble de tâches et d'items de données (66,69). Les tâches sont organisées hiérarchiquement en « plans » (69). Le modèle comprend plusieurs classes (64,69) :

- « root task » à partir de laquelle dérivent toutes les tâches.
- « plans » qui représente un ensemble de tâches groupées ensemble parce qu'elles partagent un même objectif (ou une ressource commune) ou qu'elles doivent être exécutées au même moment.
- « decisions » qui représentent l'ensemble des candidats possibles combinés selon des expressions logiques.
- « actions » qui correspondent aux procédures à exécuter (ex : l'envoi d'un message, l'appel d'un autre programme).
- « enquiries » qui sont utilisées pour acquérir des informations cliniques ou administratives à partir de l'extérieur.

PROforma permet de représenter les recommandations sous forme d'un graphe où chaque nœud est une instance d'une des classes du modèle (64) : les nœuds représentent les tâches et les arcs les contraintes (69).

PRODIGY

PRODIGY a été conçu pour aider les médecins généralistes anglais à choisir la prise en charge appropriée pour leurs patients (70). Il a été développé en 1996 par Sowerby Centre for Health Informatics at Newcastle (SCHIN) (66). Plusieurs versions ont été créées. PRODIGY III se focalise sur la prise en charge des maladies chroniques (70). Il a été remplacé en 2007 par le système CKS (Clinical Knowledge Summaries) fondé sur les mêmes principes (71).

Le modèle PRODIGY III représente la connaissance des guides sous la forme d'un réseau constitué deux sections. La première section comprend (70) :

- Des « scenarios » qui représentent un état patient selon le diagnostic et le traitement (ex : angor sous bithérapie).

- Des « action steps » qui décrivent un type de prise en charge pour un scénario et un état donnés.
- Des « subguidelines » qui correspondent à un ensemble de « scenarios » et d' « action steps » à prendre en compte au cours d'une consultation.

La deuxième section (« consultation template ») décrit les actions qui peuvent être entreprises à chaque fois qu'un patient est vu en consultation (exemple : réalisation d'examens, éducation du patient) (70).

EON

EON a été développé en 1996 au département d'informatique médicale de l'université de Stanford (64,66). Il représente les recommandations sous forme de graphe temporel « flowcharts » (64).

L'architecture EON consiste en plusieurs composants qui permettent l'acquisition et l'exécution des recommandations de bonnes pratiques cliniques (64).

Le composant qui permet de modéliser les guides de bonnes pratiques cliniques est le modèle orienté objet Dharma (64). Ce dernier décrit les entités de la recommandation comme une séquence d'étapes structurées dans le temps, à l'aide de classes ou primitives (64). Les quatre classes les plus importantes du modèle sont (64) :

- les scenarios qui caractérisent les états patients ;
- les décisions qui peuvent être des choix « Si ... Alors » ou des choix heuristiques ;
- les actions qui mènent à des changements d'états (ex : affichage d'un message à l'utilisateur) ;
- les buts représentés sous forme de critères booléens.

Le modèle Dharma laisse la possibilité à l'utilisateur d'ajouter des classes additionnelles, en plus de celles déjà existantes dans le modèle (64).

Le composant « patient data model » modélise les données patients, et le composant « medical-speciality model » modélise les concepts du domaine (64).

GLIF

GLIF modélise les recommandations sous la forme d'un « flowchart » d'étapes structurées représentant les actions et les décisions (30,64). Il a été développé en 1998 par une collaboration entre les universités de Columbia, d'Harvard et de Stanford (64).

Plusieurs versions de GLIF ont été développées. GLIF3 représente les connaissances des guides de bonnes pratiques cliniques avec 3 niveaux d'abstraction (64,72) :

- « conceptual level » : les recommandations sont représentées sous forme de « flowchart » compris par les humains, mais non interprétables par les systèmes d'aide à la décision.
- « computable level » : les recommandations sont représentées sous forme d'un diagramme de classes UML comprenant 5 classes (64) :
 - o « decision step » qui décrit les éléments de décision qui peuvent être déterministes et automatisées, ou bien nécessiter l'intervention d'un médecin ;
 - o « patient state step » qui contient les attributs décrivant l'état du patient ;
 - o « branch step » et « synchronization step » qui modélisent les différentes étapes de la recommandation ;
 - o « action step » qui décrit les actions ou tâches.
- « implementable level » : ce niveau contient l'information pour intégrer les recommandations en fonction du système d'information local, de manière à permettre le mapping entre les critères de décision et d'action de GLIF, et les données patient et concepts médicaux issus des systèmes d'information.

ASBRU

Le langage Asbru permet de prendre en compte l'intention, la dimension temporelle ainsi que l'incertitude des guides de bonnes pratiques cliniques (66). Il a été développé en 1998 à l'université de Stanford et l'université de Technologie de Vienne (64). Il s'inscrit dans le cadre du projet Asgard qui a pour objectif de proposer une architecture capable d'appliquer et critiquer les recommandations de bonnes pratiques cliniques en tenant en compte de la dimension temporelle (64,73).

Le formalisme Asbru représente les connaissances des guides de bonnes pratiques cliniques, sous la forme de « plans » eux même décomposés en « sous-plans », jusqu'à arriver au dernier plan indécomposable qui représente « l'action » (64). Chaque plan est constitué d'un nom, et d'un ensemble d'arguments comprenant (64,73) :

- Les annotations temporelles.
- Les préférences, qui contraignent le plan à suivre un objectif et un type de comportement.
- Les intentions, qui représentent les objectifs de haut niveau du plan, à maintenir, à éviter ou à atteindre (exemple : faire baisser la glycémie).
- Les conditions, qui sont de type temporel et sont utilisées pour changer l'état d'un plan.
- Les effets, qui permettent de décrire la relation entre les arguments du plan et les paramètres mesurables, ainsi que les conséquences de l'exécution d'un plan sur les paramètres (exemple : les bêta bloquants font diminuer la tension artérielle).
- Le corps du plan, qui établit la chronologie (en parallèle, successivement, ordre) et la fréquence des plans à exécuter.

GUIDE

GUIDE a été développé en 1998 à l'Université de Pavia en Italie (66).

GUIDE permet de modéliser la connaissance des guides de bonnes pratiques cliniques sous la forme de « flow-chart » comprenant les tâches et les éléments de décision (74). Les tâches sont représentées avec différents niveaux de granularité. L'éditeur NewGuide permet d'extraire différentes connaissances de la recommandation (74) :

- Les propriétés générales du guide (exemple : objectif, identité, etc.), selon le modèle GEM.
- L'ensemble des termes médicaux, codés à l'aide des standards ICD9-CM et LOINC.
- Les concepts complexes, représentés à l'aide d'un ensemble d'abstractions qualitatives et temporelles.
- La démarche de la recommandation, sous forme de processus de décision et d'activités.

GEM

GEM est un modèle XML qui hiérarchise la connaissance contenue dans les guides (66). Il a été développé en 2000 à l'université de médecine de Yale (66).

GEM représente la connaissance des guides de bonnes pratiques cliniques sous la forme d'une hiérarchie d'éléments XML, dont la racine est « Guideline Document » (75). Les principaux éléments sont (75) :

- « Identity » qui caractérise le guide.
- « Developper » qui décrit l'institution à l'origine du guide.
- « Purpose » qui fixe les objectifs de la recommandation.
- « Intended Audience » qui définit le champ d'application de la recommandation.
- « Method of Development » qui caractérise le processus de développement du guide.
- « Target Population » qui précise la population cible de la recommandation.
- « Revision plan » qui définit la durée de validité de la recommandation.
- « Knowledge component » qui contient trois sous niveaux :
 - o « Recommandation » qui peut être de deux types : « imperative » (s'applique à l'ensemble de la population cible) ou « conditional » (s'applique à un profil patient particulier) ;
 - o « Definition » qui stocke les définitions des termes utilisés ;
 - o « Algorithm » qui décrit la séquence des actions.

SAGE

SAGE (Standards-Based Active Guideline Environment) a été développé pour pouvoir intégrer les recommandations dans les systèmes d'information clinique commercialisés (76). Il prend en compte l'interopérabilité via la standardisation des données, et le workflow de l'institution (66). Le projet SAGE a été développé en 2002 à partir de la collaboration entre IDX Corporation, Stanford Medical Informatics, la Mayo Clinic, l'université de Nebraska, Intermountain Health Care et Apelon Inc (77).

L'architecture SAGE consiste en plusieurs composants. Le composant qui permet de modéliser les recommandations est le « SAGE guideline model » (77). Ce dernier représente la connaissance des guides en fonction du workflow de l'institution, sous la forme de « sous-

ensembles de recommandations » (« recommendation sets ») (76,77). Les éléments du modèle sont (77) :

- Les « context nodes » qui décrivent le workflow de l'institution, les événements déclenchant, les éléments cliniques et les états patient.
- Les « action nodes » qui incluent les messages d'alerte, de recherche ou stockage dans la base de données ou de planification d'évènements.
- Les « decision nodes » qui décrivent l'acquisition des données à partir du dossier patient informatisé ou en interagissant avec le clinicien.
- Les « routing nodes » qui donnent la possibilité de synchroniser les différentes activités.

Les arbres de décision

Les arbres de décision représentent l'ensemble des situations cliniques pour une pathologie donnée sous forme d'un arbre (30). Les variables correspondant aux états patients sont représentées par des « nœuds » (30). Les différentes valeurs prises par ces variables sont représentées par des « arcs » (30). Les arbres sont parcourus selon un chemin qui mène à la feuille de l'arbre correspondant à la prise en charge recommandée (30).

2.2.2.1.2. SAD implémentant les GBPs

En antibiothérapie empirique, tous les SAD implémentant les GBPs utilisent une approche documentaire, c'est-à-dire qu'ils proposent une version informatisée du GBP. D'après notre revue de la littérature, aucun d'entre eux n'utilise un des formalismes d'implémentations des GBPs décrits ci-dessus.

Exemple : Assistants numériques personnels

ePocrates ID (78) est un assistant numérique personnel américain conçu par des spécialistes en infectiologie et destiné à aider les médecins lors de la prescription d'antibiotiques. Il contient l'information sur plus de 300 infections, plus de 350 pathogènes et plus de 250 médicaments. Les médecins peuvent faire leur recherche selon la localisation de l'infection, la bactérie étiologique ou l'antibiotique. Pour chaque infection documentée ou non, l'outil fournit la liste des antibiotiques pouvant être prescrits rangés du « préféré au moins préféré ». Il affiche aussi des liens vers le texte des recommandations et un écran

pour écrire des notes. La mise à jour du contenu n'est pas automatique, et impose le téléchargement des nouvelles versions par l'utilisateur (78).

ABX Guide (78) est disponible sur site web ou sous forme d'assistant numérique personnel. Il est destiné à aider les médecins pour le diagnostic et le traitement des maladies infectieuses. La recherche d'information peut se faire par diagnostic, par pathogène ou par antibiotique. La recherche par diagnostic s'effectue de la manière suivante : le médecin choisit le site anatomique (ex : poumon), puis l'infection (ex : pneumopathie). L'outil affiche alors les critères diagnostics, les pathogènes en cause, les traitements et l'opinion des experts sur les traitements recommandés (arguments avec références de la littérature).

ID Notes (78) est un assistant numérique personnel créé en 1999. Il donne des informations sur les spectres bactériens, les thérapies prophylactiques, la flore normale, les traitements en fonction des organismes ou des pathologies.

Sanford Guide (78) est disponible en application web ou en assistant numérique personnel. Il contient une section « recherche rapide », menant à des tables, et une section « recherche par index ».

Exemple : ARI Smart form

ARI Smart Form est un système destiné à améliorer la prescription ambulatoire des antibiotiques chez les patients atteints d'infections respiratoires (9). Il a été développé en 2007, aux USA, par Linder et al (9).

L'outil implémente les guides de bonnes pratiques cliniques des infections respiratoires du « *Center for Disease Control and Prevention and the American College of Physicians* » (79).

Le système est intégré au dossier patient informatisé, et fonctionne de la manière suivante. D'abord, les cliniciens entrent les données de l'examen clinique et le diagnostic (79). Puis, l'outil importe du dossier patient les éléments concernant les allergies et les traitements en cours (79). Enfin, il propose au médecin le traitement recommandé en fonction des éléments précédent, ainsi que des liens vers des fiches d'éducation du patient et vers le guide de bonnes pratiques correspondant à la recommandation proposée (79).

Exemple : ABX TRIP

ABX-TRIP est un outil pour aider au traitement empirique des infections respiratoires en médecine ambulatoire (80), qui implémente les guides de bonnes pratiques cliniques du « *Center for Disease Control and Prevention* » (80). Il a développé en 2012, aux USA, par Litvin et al. (80).

ABX-TRIP est intégré dans un dossier patient informatisé (81). Il aide d'abord les cliniciens à faire un diagnostic précis en utilisant des scores cliniques (80). Puis, en fonction du diagnostic, l'outil affiche le ou les antibiotiques recommandés, ainsi que des liens hypertextes menant à des fiches d'éducation destinées aux patients (80).

Exemple : IAPP Smart phone

En 2011, au Royaume Uni, le Imperial College Healthcare NHS Trust, le Trust's antibiotic review group, et le national Centre for Infection Prevention and Management, ont développé une application pour iPhone et Android pour le traitement des maladies infectieuses à l'hôpital. IAPP Smart phone implémente les guides de bonnes pratiques cliniques d'infectiologie (82).

Les recherches peuvent s'effectuer par médicament ou par maladie. Le clinicien sélectionne la situation clinique la plus adaptée à son patient. L'application lui propose alors les recommandations adaptées à la clairance de la créatinine plasmatique, et au poids.

Exemple : Antibiolor

Antibiolor est un site web français destiné à améliorer les prescriptions d'antibiotiques en ambulatoire et à l'hôpital (83). Il a été conçu en Lorraine en 2003.

L'outil implémente les recommandations des guides de bonnes pratiques élaborés par les autorités de santé ou les sociétés savantes.

La recherche s'effectue par situation clinique. Pour chaque pathologie, le médecin accède à un document textuel récapitulant les traitements à recommander selon la situation clinique (83).

Exemple : Antibioclic

Antibioclic est un site web français développé en 2011 par le département de médecine générale de Paris7 (84), qui implémente les guides de bonnes pratiques cliniques français (85).

Le médecin sélectionne d'abord la sphère concernée (ex : appareil urinaire), puis la pathologie (ex : cystite). Ensuite, il doit préciser la situation clinique en fonction du terrain et des caractéristiques de la pathologie. Enfin le système affiche les traitements recommandés.

Les traitements recommandés sont établis par un comité de 3 médecins généralistes et 2 infectiologues qui établissent des recommandations à partir des recommandations établies dans les guides de bonnes pratiques cliniques (84).

Exemple : AntibioGARDE

AntibioGARDE est un outil français destiné à améliorer les prescriptions d'antibiotiques à l'hôpital, qui implémente les recommandations officielles et celles établies par un comité d'experts en infectiologie. La première version électronique a été créée en 2003 (réseau intranet de l'hôpital). Elle a été suivie d'une version pour PC/Mac et iPhone en 2010 (86).

La recherche peut s'effectuer à partir de 7 modes d'entrées différents (86) : par antibiotique, par micro-organisme, par situation clinique, par prophylaxie, par information pratique ou par élément de gravité. Les cliniciens peuvent ainsi trouver des informations sur les spectres bactériens, les posologies d'administration et les conduites à tenir en fonction des situations cliniques sous formes d'algorithmes de décision.

2.2.2.2. Variables décisionnelles utilisées

Les variables décisionnelles utilisées dans les SAD implémentant les guides de bonnes pratiques cliniques sont toujours liées au profil patient (ex : âge) et à la pathologie (ex : symptomatologie, stade).

2.2.2.3. Types de mise à jour

La mise à jour des SAD implémentant les guides de bonnes pratiques cliniques dépend de la révision des GBPs par les autorités de santé. La mise à jour des connaissances est donc retardée par rapport à l'évolution des connaissances.

2.2.2.4. Evaluation

Notre revue de la littérature a retrouvé peu d'études évaluant ces outils.

L'une a été subjective et évaluait le ressenti des médecins : 83% des cliniciens trouvaient l'application IAPP Smart phone facile à utiliser et 96% d'entre eux considéraient qu'elle influençait leur manière de prescrire (82).

Deux études ont évalué la qualité et la quantité de prescription des antibiotiques. ABX TRIP a permis de diminuer significativement les prescriptions d'antibiotiques injustifiées (81), et les prescriptions d'antibiotiques à spectre large (80). En revanche, il ne réduisait pas la quantité d'antibiotiques prescrits pour les infections respiratoires (80). ARI Smart form n'a permis ni de réduire la prescription des antibiotiques, ni d'améliorer la prescription des antibiotiques (16). Les auteurs expliquent ces résultats par le faible taux d'utilisation de l'outil par les médecins (16).

2.2.2.5. Utilisation en pratique clinique

Notre revue de la littérature a retrouvé très peu d'information concernant l'utilisation des SAD en pratique clinique courante.

Certains auteurs ont décrit des chiffres témoignant d'une utilisation en pratique clinique des outils. Antibiolor est consulté près de 200 fois par jour. Antibioclic est utilisé près de 600 fois par jour (85). IAPP Smart phone a actuellement 2000 utilisateurs, et près de 2000 accès à l'application sont enregistrés par mois (87). ABX TRIP a été utilisé 38 592 fois sur une période de 27 mois (88).

En revanche, un auteur a décrit une faible utilisation de l'outil en pratique clinique. L'ARI Smart form a été utilisé par les médecins dans seulement 6% des situations d'infections respiratoires (16).

2.2.2.6. Synthèse (tableau 3)

Les SAD en antibiothérapie restituant les recommandations des GBPs utilisent tous une approche documentaire pour implémenter le GBP. Aucun d'eux n'utilise un formalisme d'implémentation.

Ils s'appuient sur des variables décisionnelles liées au profil patient et à la pathologie.

Leur mise à jour est dépendante de la révision des GBPs par les autorités de santé.

Leur évaluation et leur utilisation en pratique clinique courante ont été peu décrites dans la littérature.

Tableau 3 : SAD restituant les recommandations des GBPs. Le tableau n'est pas exhaustif, et repose uniquement sur les éléments que nous avons retrouvés dans la littérature.

	Approche documentaire	Mise à jour dépendante de la révision des GBPs par les autorités	Evaluation	Utilisation
IAPP Smart phone	x	x	x	x
ARI Smart form	x	x	x	x
ABX TRIP	x	x	x	
Antibiolor	x	x		x
Antibioclic	x	x		x
Antibiogarde	x	x		

2.3. LES INTERFACES DES SAD

Dans ce chapitre, nous décrivons :

- (i) Les principes d'utilisabilité mis en œuvre lors de la conception d'interface.
- (ii) Les conceptions centrées utilisateur.
- (iii) Les typologies des différentes possibilités de navigation dans le processus de décision.

2.3.1. Les principes d'utilisabilité (« usability principles »)

L'utilisabilité (« Usability ») fait référence à l'efficacité, l'efficience et la satisfaction avec lesquelles les utilisateurs accomplissent un ensemble de tâches dans un environnement défini (89). Elle englobe les concepts décrits ci-après.

« Simplicity » (Simplicité)

La « simplicité » (90) fait référence à une interface contenant des informations concises, structurées et nécessaires à l'utilisateur. Les informations superflues doivent être évitées, et les informations importantes doivent être percutantes (90). Une interface construite selon le principe de « simplicité » réussit à présenter de manière simple un processus de décision complexe (90).

« Naturalness » (Naturel)

Le « naturel » (90) fait référence à une interface familière et facile à utiliser pour l'utilisateur. Ceci peut être obtenu en utilisant une terminologie compréhensible et appropriée, et en créant une interface s'intégrant dans le workflow de la tâche pour laquelle elle est conçue (90).

« Consistency » (Consistance)

La « consistance » fait référence à une interface qui utilise des concepts, un comportement, des interactions et un design constants au sein de la même application et/ou constants entre plusieurs applications (90). La « consistance » permet à l'utilisateur de prédire ce qui va se passer à chaque interaction avec l'interface, ce qui diminue le risque d'erreurs et facilite l'interaction avec l'interface (90).

« Minimizing cognitive load » (Minimisation de la charge cognitive)

La « minimisation de la charge cognitive » (90) fait référence à une interface qui présente les informations de manière à diminuer la charge cognitive de l'utilisateur. Pour cela, seules les informations utiles doivent être présentées, et elles doivent être regroupées et organisées par thématiques (90). De plus, les interruptions mentales, et les efforts de mémorisation de l'utilisateur doivent être évités (90).

« Efficient interactions » (Interactions efficaces)

Les « interactions » peuvent être rendues plus efficaces de plusieurs manières (90) : en minimisant le nombre d'étapes à accomplir pour effectuer une tâche ; en proposant des raccourcis pour les utilisateurs expérimentés ; en affichant des listes et des encarts textuels larges pour limiter le défilement de l'écran ; en diminuant le nombre de « switchs » entre le clavier et la souris.

« Forgiveness and feedback » (Anticipation)

« L'anticipation » fait référence à une interface dont les conséquences des interactions sont connues à l'avance et attendues sans crainte par l'utilisateur (90). Ceci permet de réduire les erreurs et de renforcer la confiance de l'utilisateur (90).

« Effective use of langage » (Utilisation efficace du langage)

« L'utilisation efficace du langage » fait référence à une interface utilisant un langage concis, non ambigu, approprié, et écrit en minuscules pour faciliter la lecture (90).

« Effective information presentation » (Présentation efficace de l'information)

La « présentation efficace de l'information » fait référence à une interface facile à lire, avec des couleurs ayant du sens et une densité de l'information appropriée (90).

« Preservation of context » (Préservation du contexte)

La « préservation du contexte » fait référence à une interface minimisant les changements à l'écran et les interruptions visuelles (ex : apparition d'une boîte de dialogue) lors de l'exécution d'une tâche (90).

Techniques de design utilisées pour concevoir des interfaces selon les principes d'utilisabilité

De nombreuses techniques ont été proposées pour concevoir des interfaces selon les principes d'utilisabilité. Les techniques liées au contenu des SAD sont les suivantes :

- Utiliser un langage concis et non ambigu (91) provenant d'une terminologie adaptée au domaine d'utilisation, pour être en accord avec les principes de « simplicité », « consistance », « d'interactions efficaces » et « d'utilisation efficace du langage ».
- Présenter des explications et des justifications pour renforcer la confiance de l'utilisateur (91).
- Afficher des conseils, des suggestions et des alternatives plutôt que des ordres à exécuter, afin de renforcer l'adhésion et de préserver l'autonomie de l'utilisateur (91).

Les techniques liées à l'affichage des SAD sont les suivantes :

- Réduire le nombre de changements d'écran afin de faciliter la navigation (92,93) et de favoriser les interactions efficaces (91).
- Utiliser une taille de police appropriée (90), un contraste acceptable entre le texte et l'arrière-plan (90), et des couleurs significatives (90,91) pour améliorer la lecture.
- Organiser l'information (91–93) (exemple : grouper des informations similaires ensembles) pour faciliter les recherches sur l'écran.
- Afficher les informations les plus importantes dans des positions proéminentes de manière à ce qu'elles soient vues (92,93).
- Utiliser des tables (94), des graphiques (94), des boutons (90), des icônes (95–97) et/ou des treemaps (98,99) pour que la densité de l'information soit appropriée.

2.3.2. Les conceptions centrées utilisateurs

La conception centrée utilisateur consiste à concevoir une interface en fonction des besoins et caractéristiques des futurs utilisateurs du système (30). La conception suit alors un processus itératif comprenant :

- Une phase d'analyse des tâches, besoins et attentes des futurs utilisateurs (30). Ceci peut se faire à l'aide de méthodes d'observation telles que les questionnaires ou les focus groups.
- Une phase de conception de l'interface (30) prenant en compte les critères ergonomiques ainsi que les éléments identifiés lors de la phase d'analyse et de la phase d'évaluation.
- Une phase d'évaluation de l'utilisabilité de l'interface (30). Ceci peut se faire par une inspection ergonomique (100) et/ou par des tests utilisateurs (14,30,101). L'inspection ergonomique (30) consiste à faire évaluer l'interface par des experts en ergonomie. Ces derniers étudient les différents éléments du prototype en fonction de standards ergonomiques (exemple : les standards de Scaplen et Bastien (102)). Les tests utilisateurs (30) consistent à faire évaluer l'interface par les futurs utilisateurs dans un environnement proche de la réalité. Ces derniers doivent suivre des scénarios simulés préétablis. Leurs comportements, verbalisations et interactions vis-à-vis du prototype sont enregistrés et analysés par des experts en ergonomie. Leur satisfaction est aussi étudiée à la fin de l'évaluation. Les résultats de cette étape sont ensuite utilisés pour améliorer le prototype. La nouvelle version créée pourra de nouveau être évaluée jusqu'à obtenir un prototype qui satisfasse pleinement les futurs utilisateurs et les ergonomes.

Les interfaces dont la conception est centrée utilisateur présentent plusieurs avantages :

- Le temps d'exécution d'une tâche est réduit comparé à une interface non centrée utilisateur (103).
- L'utilisabilité est meilleure (103).
- L'adoption du système par les utilisateurs est meilleure, puisqu'ils ont participé à la conception de l'outil.

L'une des limites est que ce type de conception a un coût humain et financier, puisqu'il nécessite d'impliquer de futurs utilisateurs dans tout le processus de conception.

Exemple : ADVISE

Dans le domaine de l'antibiothérapie, ADVISE a été conçu selon un mode « centré-utilisateur » par Thursky et al. (63) (*cf section 2.2.1.1.1*).

- La phase d'analyse a consisté à réaliser plusieurs entretiens non structurés de médecins, pharmaciens et infirmières. L'environnement de travail a aussi été observé en journée et pendant la nuit. Cette première phase a permis de modéliser le workflow, les supports de travail et l'environnement culturel des futurs utilisateurs du système.
- La phase de conception a consisté à créer un prototype papier prenant en compte les éléments identifiés lors de la phase d'analyse.
- La phase d'évaluation a consisté à faire évaluer ce prototype papier par les futurs utilisateurs en leur demandant de répondre à des cas cliniques. Les interactions possibles avec le futur système ont été analysées et prises en compte pour concevoir l'interface finale du système.

L'interface d'ADVISE est structurée en 4 zones (36) (figure 8). Une zone centrale affiche les résultats des examens microbiologiques sous forme de colonnes (date du prélèvement, résultat de la culture, etc.). Une zone affiche les allergies du patient. Une autre présente l'efficacité des antibiotiques sur les différentes bactéries étiologiques sous forme d'un tableau. En cliquant sur une cellule du tableau, le médecin peut visualiser la règle utilisée pour générer le conseil (36). Quelques techniques de design ont été utilisées : utilisation de tableaux comparatifs, de couleurs, structuration de l'interface en 4 zones fixes.

ADVISE

UR Number: 1234563 Search Print SMITH, JOHN

ALLERGIES

- ++ BETA LACTA...
- MACROLIDES
- QUINOLONES
- VANCOMYCIN
- RIFAMPICIN
- SULPHUR

Recent Allergy Values

Sample No	Date/Time	Organism	Source	Sensitivity	Comment
M428329	14/08/2003 23:00:00	staphylococcus aureus [+]	tracheal aspirate	ERY-S FLA-S MET-S PEN-R RIF-S VAN-S	[Pus:Epithelial Cell Ratio:25:10] [Culture:+ STAPHYLOCOCC...
M428330	13/08/2003 12:00:00	staphylococcus aureus [+]	tracheal aspirate	ERY-S FLA-S MET-S PEN-R RIF-S VAN-S	[Culture:+ STAPHYLOCOCCUS AUREUS + CANDIDA ALBE...
M428335	12/08/2003 01:00:00	staphylococcus aureus [++]	tracheal aspirate	ERY-S FLA-S MET-S PEN-R RIF-S VAN-S	[Macroscopic Description:MUDDY/PURULENT]
M428188	09/08/2003 22:09:00	staphylococcus aureus [++]	tracheal aspirate	AMP-S AMC-S CTX-S	[Culture:++ STAPHYLOCOCCUS AUREUS +++ HAEMOPHI...
M428189	09/08/2003 20:34:00	staphylococcus aureus [+]	tracheal aspirate	ERY-S FLA-S MET-S PEN-R RIF-S VAN-S	[Culture:++ STAPHYLOCOCCUS AUREUS +++ HAEMOPHI...
M428188	09/08/2003 20:34:00	haemophilus influenzae [+++]	tracheal aspirate	AMP-S AMC-S CTX-S	[White Blood Cells:<2] [Red Blood Cells:16]
M149539	21/08/2003 10:00:00	NO GROWTH - DETECTION LIMIT 10 ⁷ CFU/L	urine type not stated		[Red Blood Cell Morphology:NO N-GLOMERULAR] [White Bl...
M149395	19/08/2003 14:00:00	NO GROWTH - DETECTION LIMIT 10 ⁷ CFU/L	urine type not stated		[Red Blood Cell Morphology:NO N-GLOMERULAR] [White Bl...
M149282	18/08/2003 18:58:00	NO GROWTH - DETECTION LIMIT 10 ⁷ CFU/L	urine type not stated		[White Blood Cells:<2] [Red Blood Cells:16]
M149071	16/08/2003 02:30:00	NO GROWTH - DETECTION LIMIT 10 ⁷ CFU/L	urine catheter specimen		[White Blood Cells:174] [Red Blood Cells:10]
M148853	14/08/2003 18:30:00	NO GROWTH - DETECTION LIMIT 10 ⁷ CFU/L	urine type not stated		[Red Blood Cell Morphology:NO N-GLOMERULAR] [White Bl...
M148857	13/08/2003 12:00:00	NO GROWTH - DETECTION LIMIT 10 ⁷ CFU/L	urine type not stated		[Red Blood Cell Morphology:NO N-GLOMERULAR] [White Bl...
M148433	12/08/2003 01:00:00	NO GROWTH - DETECTION LIMIT 10 ⁷ CFU/L	urine type not stated		[White Blood Cells:<2] [Red Blood Cells:16]
M148372	09/08/2003 20:34:00	NO GROWTH - DETECTION LIMIT 10 ⁷ CFU/L	urine type not stated		[White Blood Cells:10] [Red Blood Cells:20]
M140947	11/08/2003 17:00:00	enterobacter cloacae [10 ⁸ CFU/L]	urine catheter specimen	CIP-S SXT-R GEN-S NIT-R TR-R	
M063824	23/08/2003 01:25:00	NO GROWTH AFTER 5 DAYS.	blood cultures		[Aerobic:NEGATIVE (5 days)] [Anaerobic:NEGATIVE (5 days)]
M063853	20/08/2003 18:53:00	NO GROWTH AFTER 5 DAYS.	blood cultures		[Aerobic:NEGATIVE (5 days)] [Anaerobic:NEGATIVE (5 days)]
M063529	20/08/2003 09:30:00	NO GROWTH AFTER 5 DAYS.	blood cultures		[Aerobic:NEGATIVE (5 days)] [Anaerobic:NEGATIVE (5 days)]
M063506	19/08/2003 14:00:00	NO GROWTH AFTER 5 DAYS.	blood cultures		[Aerobic:NEGATIVE (5 days)] [Anaerobic:NEGATIVE (5 days)]
M063542	18/08/2003 18:58:00	NO GROWTH AFTER 5 DAYS.	blood cultures		[Aerobic:NEGATIVE (5 days)] [Anaerobic:NEGATIVE (5 days)]

ANTIBIOTIC ORGANISM CLEAR GRID

ORGANISM	Amikacin (AMK)	Amoxicillin (AMC)	Amoxicillin/clavulana...	Amphotericin B (AMT)	Ampicillin (AMP)	Azithromycin (AZT)	Aztreonam (ATM)	Benzylpenicillin (PEN)	Cefaclor (CEC)	Cefepime (CFM)	Cefotaxime (CTX)	Cefoxitin (CFT)	Cefpirome (CPO)	Cefuroxime (CPD)	Cefazidime (CAZ)	Ceftazidime (CRO)
enterobacter cloacae	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
haemophilus influenzae	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
staphylococcus aureus	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ORGANISM																
ORGANISM																
ORGANISM																
ORGANISM																

MED REVIEW

(Isipenem [IMP] ALLERGY)

Severe allergy to BETA LACTAMS
2-3% of patients treated with isipenem have developed a rash, pruritis or urticaria. The drug may be cross-allergic with penicillins and cephalosporins, and should be avoided if the reaction to these was severe.

CALC CICI

(Tobramycin [TOB] WARNING)

ALLERGIES

- ++ BETA LACTA...
- MACROLIDES
- QUINOLONES
- VANCOMYCIN
- RIFAMPICIN
- SULPHUR

ENTEROBACTER SPECIES

Last updated September 2002. Author: Kerin Thursky

Enterobacter strains are opportunistic Gram negative bacilli which are frequent colonisers of hospitalised patients. They rarely cause primary disease but are associated with wound, burn, respiratory and urinary tract infections in patients with indwelling catheters, multiple antibiotics and other comorbidities. Enterobacter species produce an inducible beta lactamase which leads to rapid emergence of resistance and clinical failure with the use of beta lactams, with the exception of carbapenems. 3rd generation cephalosporins are not recommended.

Enterobacter is a common coloniser of urine in catheterised patients, so treatment should be reserved for those with clinical evidence of urinary tract infection. If treatment is indicated, recommended therapy is:

NORFLOXACIN or CIPROFLOXACIN

Figure 8 : ADVISE - Interface (36) – Le système affiche les résultats d'antibiogramme (zone centrale), les allergies du patient (zone à gauche) et l'efficacité des antibiotiques (zone en bas).

Exemple : IAPP Smart phone

L'interface a été conçue centrée utilisateur, avec implication de cliniciens et de pharmaciens dans la conception (82). L'information est entièrement textuelle (Figure 9). La navigation se fait via des liens hypertextes. Quelques techniques de design ont été utilisées : utilisation de couleurs, structuration de l'information par paragraphe.

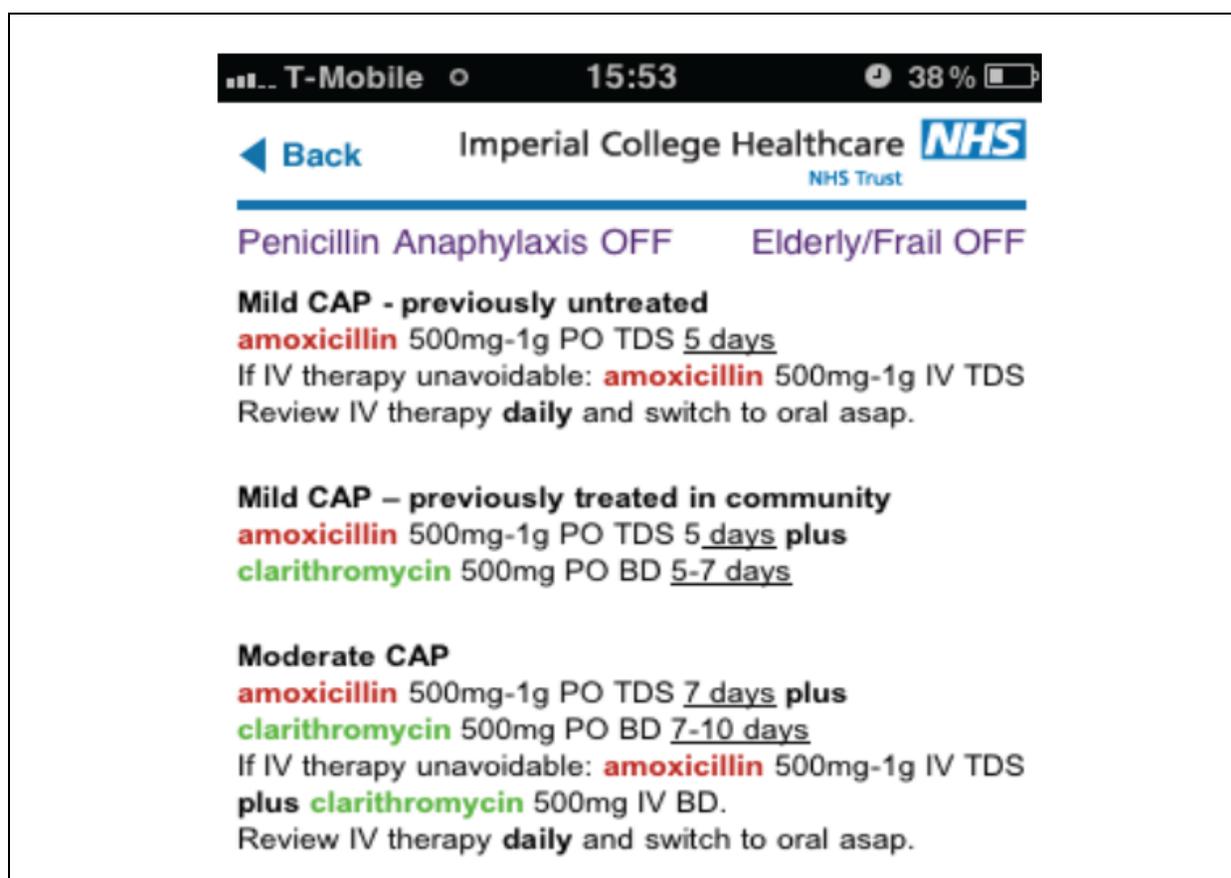


Figure 9 : IAPP Smart phone – Interface (104) – L'information est entièrement textuelle.

2.3.3. Les typologies de navigation des interfaces

2.3.3.1. Les diagrammes représentant les arbres de décision

Les diagrammes d'arbre de décision représentent le processus de décision sous forme d'un diagramme statique constitué de nœuds reliés par des liens (98). Ils sont utilisés par les autorités de santé et les sociétés savantes lorsqu'elles écrivent des recommandations cliniques (5,105). La figure 10 montre un exemple de diagramme proposé par le NICE pour la prise en charge des méningites et septicémies à méningocoque (105).

Ce type de représentation est intéressant lorsque les diagrammes sont petits, car ils permettent une visualisation efficace et esthétique de l'information (98). Lorsqu'ils sont grands, ils sont difficiles à manipuler, car la vue d'ensemble est perdue (98). De plus, ils utilisent beaucoup d'espace, et les nœuds ne peuvent contenir qu'une petite quantité de texte (98).

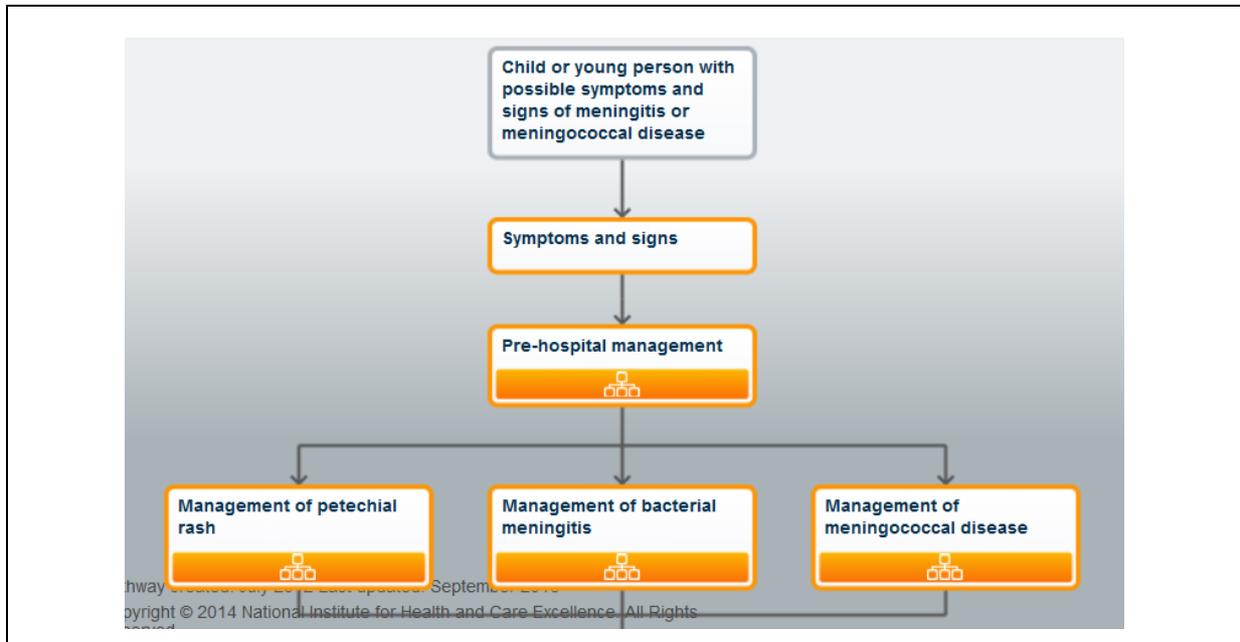


Figure 10 : Diagramme d'arbre de décision - Cas d'application : prise en charge des méningites et septicémies à méningocoque (NICE) (105).

Exemple : AntibioGARDE

Les informations sont présentées sous forme de tableaux et d'arbres décisionnels, ce qui permet au médecin d'avoir une vue d'ensemble de la prise en charge (figure 11). Le médecin doit cliquer sur la prise en charge correspondant à la situation clinique du patient pour avoir le traitement détaillé. Certaines techniques de design intéressantes ont été utilisées : les mêmes couleurs sont utilisées pour représenter le même type d'information (exemple : le traitement est toujours représenté en orange), des icônes sont utilisées pour diminuer la quantité de texte.

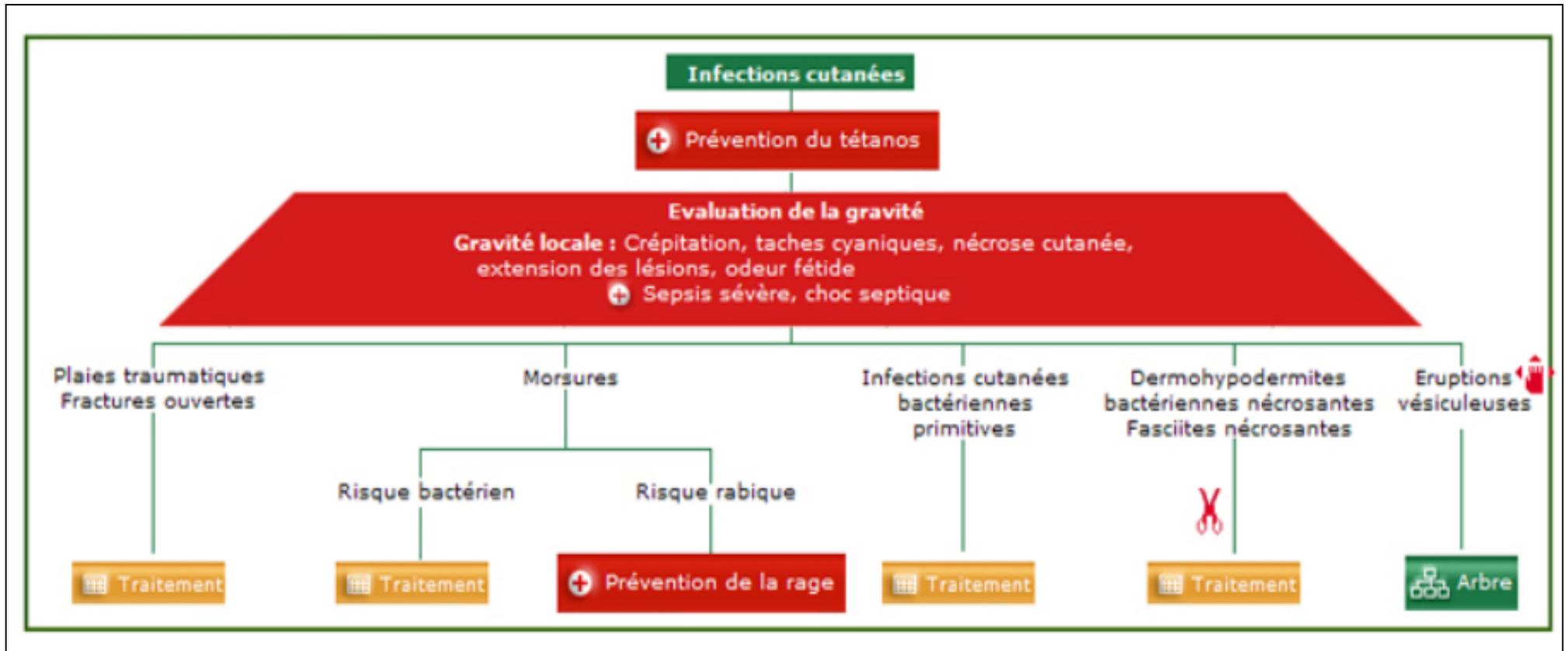


Figure 11 : AntibioGARDE – Interface (86) – Les recommandations sont affichées sous forme d’arbres décisionnels avec des couleurs significatives (exemple : les feuilles « traitement » sont colorés en orange).

2.3.3.2. Les liens hypertextes

Les liens hypertextes représentent le processus de décision sous forme de plusieurs liens à cliquer manuellement. Chaque clic correspond à une étape de la décision et mène à une nouvelle page contenant de nouvelles informations. Les liens hypertextes correspondent aux nœuds du processus de décision. Ils sont couramment utilisés dans les SAD (80,88,106).

Les liens hypertextes préservent le raisonnement actif du médecin (107), puisque chacun des liens doit être cliqué manuellement pour obtenir la prise en charge recommandée. Néanmoins cette méthode de présentation de l'information a plusieurs limites : (i) le nombre de clics dépend de la profondeur de la hiérarchie et peut être important ; (ii) la vue d'ensemble du processus de décision n'est pas possible ; (iii) des erreurs de navigation peuvent survenir après plusieurs clics (le médecin peut « se perdre » dans la navigation, « lost in hyperspace phenomnom » (108)).

Exemple : Antibiolor

Selon la pathologie du patient, le médecin clique sur un lien hypertexte correspondant à la pathologie du patient. Ceci le mène à un document textuel résumant l'information contenu dans les GBPs (83) (figure 12). Des tableaux sont parfois utilisés pour présenter l'information (83).

■ OTITES MOYENNES AIGÜES*

B2

- Seule l'OMA purulente (fièvre + otalgie + épanchement rétro-tympanique extériorisé ou non) est justiciable de prescription d'antibiotique.
- L'antibiothérapie est systématique chez l'enfant de moins de 2 ans ; elle n'est pas recommandée chez l'enfant de plus de 2 ans lorsqu'elle est peu symptomatique.

ANTIBIOTHÉRAPIE PROPOSÉE EN PREMIÈRE INTENTION* :

Antibiothérapie proposée	Adulte	Enfant	Durée
Amoxicilline par voie orale	2-3 g/j en 2 à 3 prises quotidiennes	80-90 mg/kg/j en 2 à 3 prises quotidiennes	5 jours (8-10 jours si moins de 2 ans)

Si le temps entre les 3 prises quotidiennes d'Amoxicilline ne peut être équidistant (environ 8 h), il est préférable de répartir la dose journalière en 2 prises.

*En cas de syndrome otite-conjunctivite (forte probabilité d'une infection à *Haemophilus influenzae*), association amoxicilline-acide clavulanique.*

ANTIBIOTHÉRAPIE DE DEUXIÈME INTENTION

- Allergie vraie aux pénicillines sans allergie aux céphalosporines

Céfuroxime-axétil	500 mg/j en 2 prises		5 jours
Cefpodoxime		8 mg/kg/j en 2 prises	8 à 10 j avant 2 ans 5 j après 2 ans

- Si contre-indication aux bêta-lactamines (pénicillines et céphalosporines)

Pristinamycine	2g/j en 2 prises		5 jours
Cotrimoxazole	Sulfaméthoxazole 800 mg / triméthoprim 160 mg en 2 prises par jour	Sulfaméthoxazole 30 mg/kg/j / triméthoprim 6 mg/kg/j en 2 prises par jour	8 à 10 j avant 2 ans
Erythromycine Sulfafurazole		Erythromycine Sulfafurazole si plus de 2 mois 50 mg/kg/j d'érythromycine et 150 mg/kg/j de sulfafurazole en dose-kg en 3 fois/j	5 j après 2 ans

* Recommandations Novembre 2011



Figure 12 : Antibiolor – Interface (83) – Les recommandations sont proposées sous forme de documents téléchargeables.

Exemple : Antibioclid

L'interface est entièrement textuelle (figure 13). Le médecin navigue à travers de nombreux liens hypertextes. A chaque nouvelle page, il doit renseigner des informations concernant le patient via des cases à cocher et des listes déroulantes. Plusieurs clics sont nécessaires pour arriver au traitement recommandé.

The screenshot shows the Antibioclid website interface. At the top, there are logos for 'ANTIBIOCLIC' (Antibiothérapie rationnelle en soins primaires), 'PARIS DIDEROT' (Université Paris Diderot, Département de Médecine Générale), 'Spilf' (Société Française de Pédiatrie Infectieuse et Maladies Tropicales), and 'Service des Maladies Infectieuses et Tropicales, Hôpital RICHAT, Paris, France'. A navigation bar includes 'Mise à jour: 18/3/2014', 'NOUVELLE RECHERCHE', 'Actualité', 'A propos', and 'Contact'. A note states: 'NB: les choix surlignés sont ceux qui sont privilégiés par le groupe d'experts d'ANTIBIOCLIC'. The main content is titled 'VOUS ÊTES CONFRONTÉ À LA SITUATION SUIVANTE:' and lists criteria: 'Pathologie: otite moyenne aiguë', 'Groupe d'âge: enfant', 'Sous-groupe d'âge: plus de deux ans', and 'Situation particulière: pas d'insuffisance rénale'. The first recommendation is 'ENFANT PEU SYMPTOMATIQUE : ABSTENTION D'ANTIBIOTHÉRAPIE POSSIBLE AVEC RÉÉVALUATION CLINIQUE À 48-72H.'. The second is 'SI SYMPTOMATOLOGIE BRUYANTE: TRAITEMENT ANTIBIOTIQUE PENDANT 5 JOURS:', with a recommendation for 'AMOXICILLINE po : 80-90 mg/kg/j en 2 à 3 prises par jour (si 1 administration /8h non applicable, privilégier 1 administration x2/j)'. A section 'SAUF SITUATIONS PARTICULIÈRES:' lists alternatives for otitis-conjunctivitis syndrome, allergies, and true allergies. The third section is 'SI ÉCHEC (AGGRAVATION, PERSISTANCE > 48H SOUS TRAITEMENT, RÉCIDIVE 4J APRÈS TRAITEMENT):', recommending a switch to 'AMOXICILLINE-ACIDE CLAVULANIQUE po, 80 mg/kg/j en 3 prises/j, soit 1 dose-poids 3x/j (durée 5 j)'. The fourth section is 'SI 2ÈME ÉCHEC:', recommending 'avis ORL pour PARACENTÈSE'. The fifth section is 'CHOIX DU COMITÉ ANTIBIOCLIC:', stating 'L'Amoxicilline est la molécule la plus active sur le pneumocoque de sensibilité diminuée à la pénicilline et garde une très bonne activité sur Haemophilus.'. The sixth section is 'CHOIX DU COMITÉ ANTIBIOCLIC:', recommending 'Meilleure tolérance (moins d'effets indésirables) et facilité de prise en x2/j'. The seventh section is 'SOURCES:', listing 'SPILF-SFP-GPIP: Infections respiratoires hautes: recommandations 2011' and 'SPILF-SFP-GPIP: Infections respiratoires hautes: argumentaire 2011'. A 'Nouvelle recherche' button is at the bottom.

Figure 13 : Antibioclid – Interface (84) –L'information délivrée contient une grande quantité de texte.

Exemple : ABX TRIP

L'interface est textuelle, et la navigation se fait via des hyperliens textuelles (81). Les figures 14 et 15 montrent un exemple pour la prise en charge de l'angine (80,88).

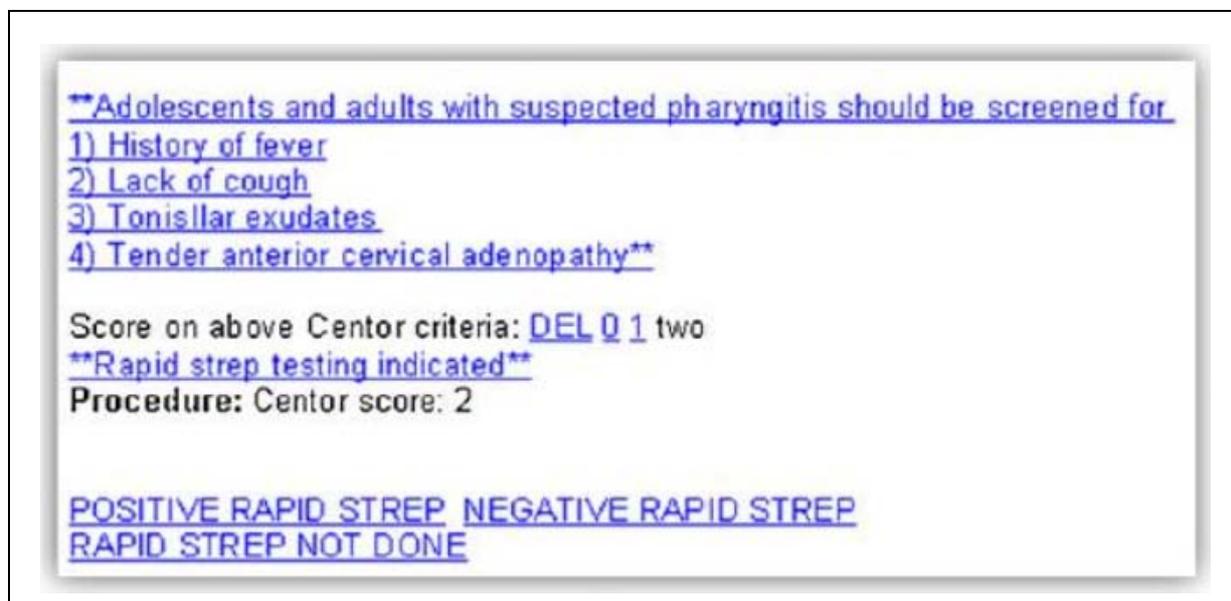


Figure 14 : ABX TRIP – Interface (81) (80,88) - Cas d'application : Prise en charge de l'angine– Le médecin clique sur le lien hypertexte correspondant au résultat du streptotest : positif / négatif / non réalisé.

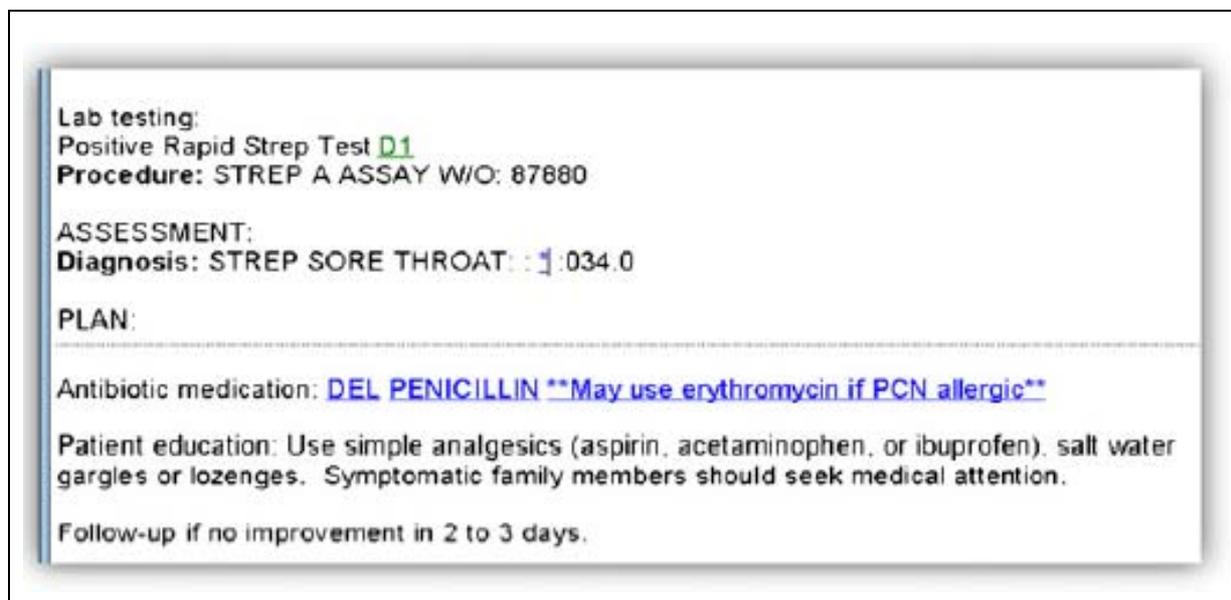


Figure 15 : ABX TRIP – Interface (81) – En cliquant sur le lien correspondant à un streptotest positif, le médecin arrive à une page qui lui indique le traitement recommandé (ici l'amoxicilline en l'absence d'allergie connue à ce médicament).

2.3.3.3. Les cases à cocher et les données à entrer manuellement

Certains SAD proposent une navigation qui oblige le médecin à entrer des informations concernant le patient sous la forme de texte, d'éléments à sélectionner ou de cases à cocher ou à presser. Ce type de navigation est couramment utilisé dans les SAD (11,79,109,110), notamment pour le calcul de scores.

Les cases à cocher et/ou à remplir préservent l'autonomie du médecin. Néanmoins, cette méthode de présentation de l'information a plusieurs limites : (i) le temps de navigation est allongé (107) ; (ii) tous les champs doivent être remplis même si seulement une partie est nécessaire pour naviguer dans le processus de décision ; (iii) la vue d'ensemble du processus de décision n'est pas possible.

Exemple : MYCIN

Le système propose une interface entièrement textuelle (figure 16). Le médecin doit répondre aux questions posées par le système.

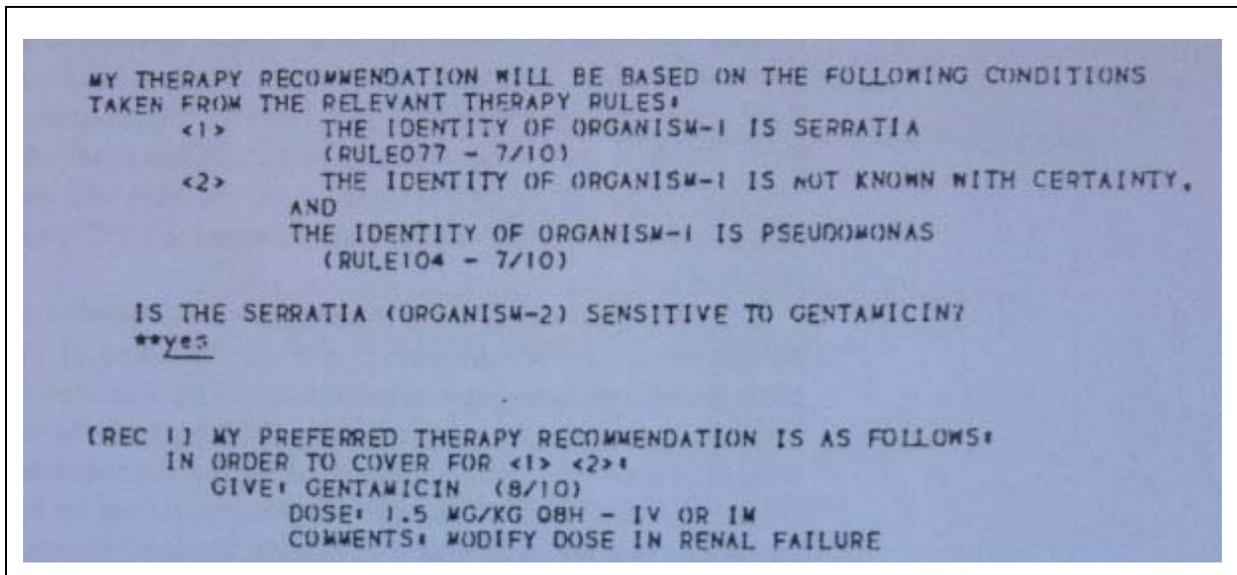


Figure 16 : MYCIN - Interface (111) – Le médecin non expert interagit avec le système en répondant aux questions relatives aux données patient. S'il le souhaite, il peut aussi obtenir des explications textuelles sur les recommandations proposées par MYCIN.

Exemple : SAD d'Evans et al. intégré dans le HELP système

L'interface est textuelle, et difficile à lire (figure 17). Elle affiche différents types d'information tels que les pathogènes les plus probablement en cause, la liste des antibiotiques probablement efficaces et l'antibiotique suggéré (59). Les sensibilités bactériennes, le coût, les antibiogrammes et les monographies des médicaments sont aussi affichés (58,59).

LDS HOSPITAL EMPIRIC ANTIBIOTIC CONSULTANT					
12/28/91. 16:52					
99999999 DOE. JOHN Q.					
SITE = BLOOD					
Inpatient			Community-acquired		
PAST 5 YEARS			PAST 6 MONTHS		
ORGANISM	#	(%)	ORGANISM	#	(%)
Staph. coagulase neg.	88	(28)	Staph. coagulase neg.	14	(45)
Escherichia coli	80	(26)	Escherichia coli	8	(26)
Strep. pneumoniae	36	(12)	Strep. pneumoniae	3	(10)
Staph. aureus	27	(9)	Staph. viridans	3	(10)
Strep. viridans	27	(9)	Strep. aureus	2	(6)
Total = 258 (84)			Total = 30 (97)		
ANTIBIOTIC	(%)	COST/24hr	ANTIBIOTIC	(%)	COST/24hr
Cefotaxime	(86)	\$27.45	Cefazolin	(80)	\$12.00
Cefuroxime	(86)	\$35.46	Vanco+Gentamicin	(99)	\$27.79
Ceftriaxone	(86)	\$24.98	Vanco+Aztreonam	(99)	\$51.14
Cefazolin	(84)	\$12.00	Vanco+Cefoxitin	(97)	\$54.24
Vanco+Gentamicin	(99)	\$27.79	Vanco+Cefotaxime	(96)	\$46.85
SUGGESTED EMPIRIC ANTIBIOTIC: Vancomycin+Gentamicin					
*ANTIBIOTIC ALLERGIES--Penicillin					
**TOXICITY PROBLEMS--None identified					

Figure 17 : SAD intégré dans le HELP système de l'hôpital LDS - Interface (59) – Différents types d'information sont affichés tels que les pathogènes les plus probablement en cause, la liste des antibiotiques efficaces, leur coût, et l'antibiotique recommandé par le système.

Exemple : ICONS

La liste d'antibiotiques est proposée via une interface textuelle (figure 18). Certains éléments de comparaison des antibiotiques tels que le coût journalier sont affichés.

Restrictions Pathogen Spectrum Additional Therapies Own Creation		
ADVISABLE THERAPIES:		Price (DM/Day)
<input type="checkbox"/> LINCOSAMIDE	+ GYRASEHEMMER :	
<input type="checkbox"/> CLINDAMYCIN	+ CIPROFLOXACIN	92 to 201
<input type="checkbox"/> PENICILLINE	+ AMINOGLYKOSIDE :	
<input type="checkbox"/> PIPERACILLIN	+ GENTAMICIN	48 to 111
<input type="checkbox"/> PIPERACILLIN	+ TOBRAMYCIN	65 to 141
<input type="checkbox"/> PIPERACILLIN	+ AMIKACIN	166 to 231
<input type="checkbox"/> AUGMENTAN	+ TOBRAMYCIN	66 to 121
<input type="checkbox"/> AUGMENTAN	+ AMIKACIN	169 to 201
<input type="checkbox"/> TAZOBAC	+ GENTAMICIN	11 to 15
<input type="checkbox"/> TAZOBAC	+ TOBRAMYCIN	28 to 42
<input type="checkbox"/> TAZOBAC	+ AMIKACIN	129
<input type="checkbox"/> MEZLOCILLIN	+ TOBRAMYCIN	75 to 141
<input type="checkbox"/> MEZLOCILLIN	+ AMIKACIN	177 to 221

Figure 18 : ICONS - Interface textuelle (42) – Le système propose une liste d'antibiotiques au médecin, qui doit alors choisir celui qu'il souhaite prescrire. Pour l'aider à faire son choix, certains paramètres tels que le coût journalier sont affichés.

Exemple : TREAT

Le système utilise des techniques de design intéressantes (figure 19) tels que : (i) des histogrammes pour afficher la balance bénéfice-coût de chaque antibiotique, la probabilité de chaque site d'infection potentiellement en cause, et la probabilité de chaque pathogène possiblement responsables de l'infection (53) ; (ii) des couleurs significatives différentes ; une structuration de l'information en trois zones.

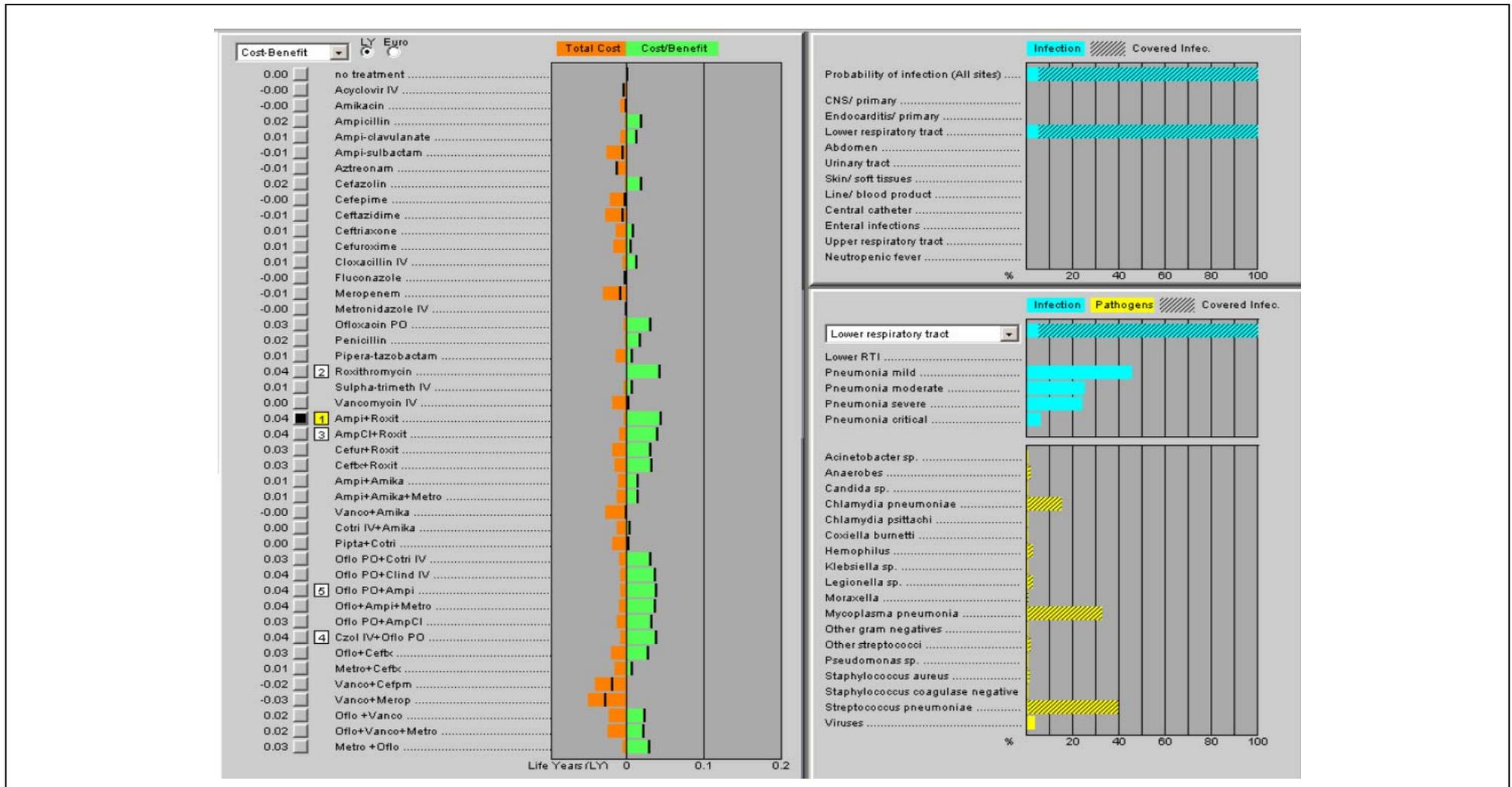


Figure 19 : TREAT - Interface (53) – Exemple (53) : Pneumopathie de l'adulte - En fonction du tableau clinique (patient de 35 ans présentant une dyspnée fébrile associée à une douleur thoracique et à une toux avec expectorations, et ayant un foyer pulmonaire à la radiographie thoracique), TREAT établit que la bactérie la plus probablement en cause est le pneumocoque, et que l'antibiothérapie ayant la meilleure balance bénéfice-coût est la bithérapie ampicilline/roxithromycine (53).

Exemple : FCM-uUTI DSS

Le médecin doit renseigner les informations concernant la pathologie, les conditions patient et les fréquences de résistance acquise via des cases à cocher. Une boîte de dialogue noire affiche la liste d'antibiotiques recommandée (44) (figure 20).

The screenshot displays the 'FCM Therapy Model' interface. It features a checklist of patient conditions categorized into four columns: Disease, Condition, Allergy, and Resistance To Antibiotics. A 'Therapy' button is visible. A graph titled 'Figure 1' shows the 'Value of node' (y-axis, 0 to 1) over 'Number of repetition' (x-axis, 0 to 120). A black box titled 'Appropriateness order of the Proposing Therapies' lists the following treatments and their scores:

Treatment	Score
Amoxicillin 250-500mg PO 3/day 10-14 days	0.92797
Ciprofloxacin 250 mg PO x 2/day during 3 days	0.9003
Lomefloxacin 400 mg PO x 1/day 3 days	0.9003
Norfloxacin 400 mg PO x 2/day 3 days	0.9003
Fosfomycin trometamol 3 g PO x 1 .day	0.87557
Ofloxacin 200 mg PO x 2/day 3 days	0.86074
Nitrofurantoin 100 mg PO x 3/day for 5 days	0.75912
TMP/SMX 3g PO x 2/day 3 days	0.42609

Figure 20 : FCM-uUTI DSS - Interface (44) – Les paramètres à renseigner sont cliquables. Les traitements recommandés sont affichés après que le médecin ait renseigné les informations concernant la pathologie, le patient, et les fréquences de résistances acquises.

Exemple : ARI Smart form

Le médecin doit renseigner des éléments concernant la situation clinique via des cases à cocher, des radio boutons et des listes déroulantes (79) (figure 21). Il peut aussi entrer des informations de manière textuelle.

Welcome, User Help [Print this page](#)

6 **Oetest, Tom** 3861817 (MGH) 02/04/1960 (45 yrs.) M PARTNERS **Smart Form**

Summary [Note Preview](#)

Chief Complaint [Hide](#)

Chief Complaint:

Overall duration of symptoms: days

Symptoms [Hide](#)

<input type="checkbox"/>	Symptoms	Comments
<input type="checkbox"/>	Fever documented: <input type="text" value=""/> max. (°F)	
<input type="checkbox"/>	Subjective fever	
<input type="checkbox"/>	Chills or feeling cold	
<input type="checkbox"/>	Fatigue, tired, or worn-out	
<input type="checkbox"/>	Ear pain	
<input type="checkbox"/>	Ear stuffiness	
<input type="checkbox"/>	Red or itchy eyes	
<input type="checkbox"/>	Headache	
<input type="checkbox"/>	Facial or sinus pain	
<input type="checkbox"/>	Facial or sinus pressure	
<input type="checkbox"/>	Runny nose/nasal discharge	
<input type="checkbox"/>	Colored nasal discharge	
<input type="checkbox"/>	Post-nasal drip	
<input type="checkbox"/>	Sore throat	
<input type="checkbox"/>	Swollen glands	
<input type="checkbox"/>	Shortness of breath	
<input type="checkbox"/>	Wheezing	
<input type="checkbox"/>	Pleuritic chest pain	
<input type="checkbox"/>	Cough	
<input type="checkbox"/>	Productive cough (sputum or phlegm)	
<input type="checkbox"/>	Cough productive of colored sputum	
<input type="checkbox"/>	Non-productive cough	
<input type="checkbox"/>	Coughing up blood	
<input type="checkbox"/>	Rash	
<input type="checkbox"/>	Muscle aches	

Other Symptoms:

IPPI [Hide](#)

Overall clinical course: improving worsening no change

Has the illness caused the patient to restrict their activity? Yes No

Is patient in job with high risk of transmitting strep throat? Yes No

Patient's primary goal in seeking care:

Orders/Assessment/Plan

Strep Throat Probability

Strep Throat Criteria: 2 out of 4 [\[How calculated\]](#)



Current Probability: 8% of strep throat

- If negative rapid strep test: 2% probability of strep throat
- If positive rapid strep test: 52% probability of strep throat

Perform rapid test; treat only if result is positive

Recommendations

Non-streptococcal pharyngitis
 Reference information
 The CDC and ACP **do not** recommend throat cultures for adults with presumed streptococcal pharyngitis

Recommend OTC medications

Analgesic/antipyretic

- Ibuprofen
- Acetaminophen
- Lozenges
- Sprays

Combination products

- Nighttime combination product (e.g., Nyquil)

Recommended

- Fluids and rest
- Salt-water gargles

Print

- Patient handout about non-streptococcal pharyngitis/sore throat
- Call if symptoms worsen, new symptoms arise, or symptoms fail to improve after a total of 14 days
- Excuse from work note: May return to work in days

[Print Handout](#) [Refresh Orders](#) [Done](#)

Figure 21 : ARI Smart Form - Interface (79) – Exemple de la prise en charge de l'angine.

2.3.3.4. *Les interfaces qui s'étendent et se contractent (« expand/contract interface »)*

Les interfaces qui « s'étendent et se contractent » (94,112,113) représentent le processus de décision sous la forme d'une hiérarchie où chaque nœud contient un contenu qui ne peut être visualisé que lorsque l'on clique sur le nœud (114). Les utilisateurs ont une vue globale du processus de décision, et réduisent progressivement le champ de recherche (115) : à chaque fois qu'ils cliquent sur un nœud, les items du niveau d'en dessous apparaissent (filtration dynamique) (114).

Les interfaces qui « s'étendent et se contractent » permettent d'adapter la navigation au besoin de l'utilisateur (115), et sont faciles à lire puisque la lecture s'effectue du haut vers le bas. Néanmoins, cette méthode de présentation a plusieurs limites : (i) le nombre de clics dépend de la profondeur de la hiérarchie et peut être important ; (ii) la vue d'ensemble du processus de décision n'est pas possible ; (iii) l'utilisateur peut avoir une connaissance a priori du processus de navigation qui peut lui faire parcourir le mauvais chemin.

Exemple : Antibiocarte version 1 développé dans notre laboratoire par Duclos et al (3,116).

La figure 22 montre l'interface pour la sinusite de l'enfant de la première version du site Antibiocarte®. Une version plus détaillée de l'interface est présentée au *chapitre 3, section 3.2.1.*

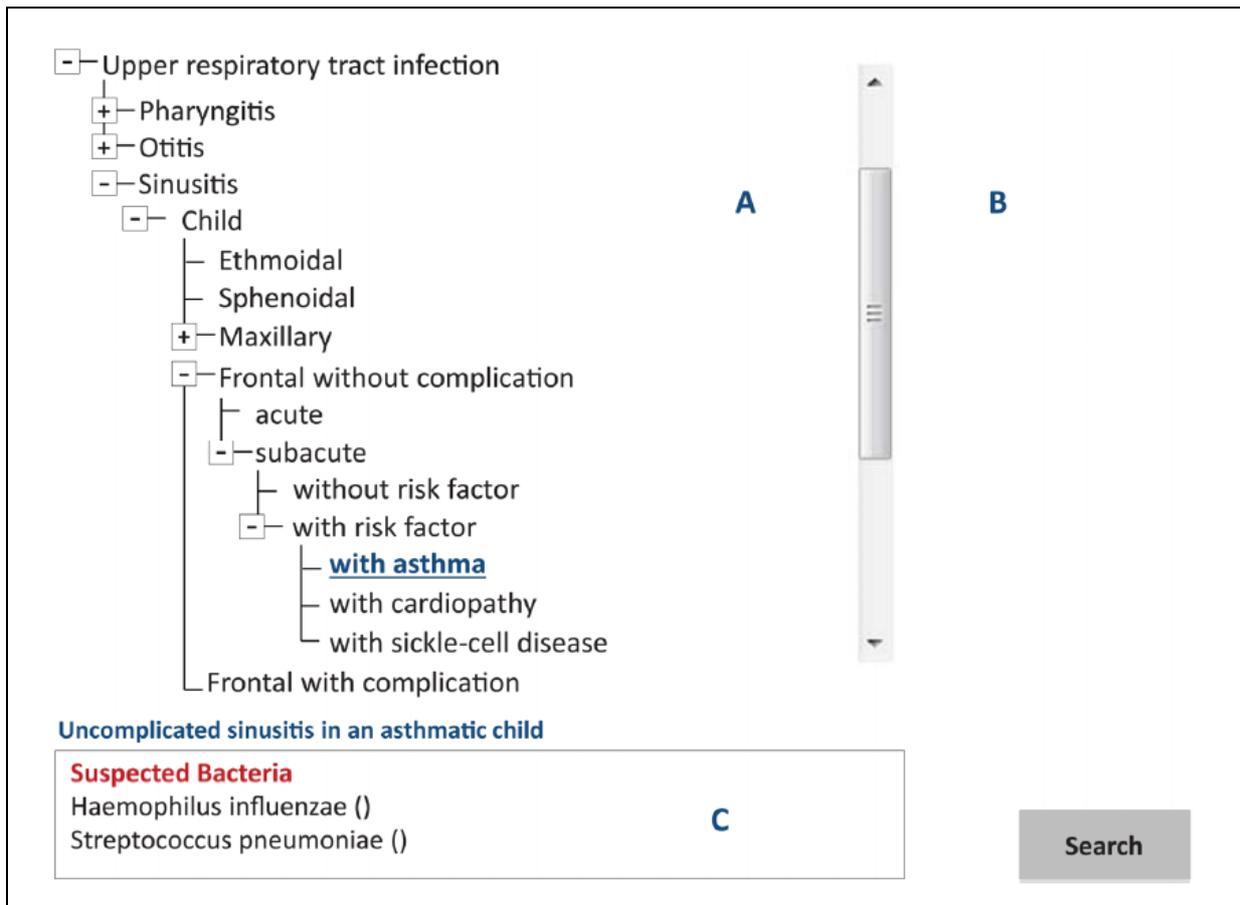


Figure 22 : Antibiocarte Version 1 - Interface qui "s'étend et se contracte" (3,116) – Le médecin navigue dans le processus de décision en cliquant sur la croix.

2.3.4. Synthèse (tableau 4)

La plupart des SAD en antibiothérapie empirique propose une navigation de type guidé (diagramme, liens hypertextes, données à entrer, arborescence qui s'étend et se contracte).

Les techniques de design répondant aux principes d'utilisabilité décrit au *chapitre 2, section 2.3.1.* sont peu utilisées. Seuls, quelques systèmes proposent des interfaces utilisant des couleurs significatives, des tableaux, des icônes, et des histogrammes.

Deux d'entre eux (ADVISE et IAPP Smart phone) ont été créés selon une conception centrée utilisateur. Les modalités de conceptions des autres SAD n'ont pas été décrites.

Seuls les SAD capable de générer des recommandations permettent au médecin de comparer et de choisir un antibiotique parmi une liste d'antibiotiques. Les SAD implémentant les GBPs proposent uniquement une liste restreinte des antibiotiques recommandés sans possibilité de comparaison.

Tableau 4 : Synthèse – Les SAD en antibiothérapie empirique et les types d’interface qu’ils utilisent. Le tableau n'est pas exhaustif, et repose uniquement sur les éléments que nous avons réussi à retrouver dans la littérature.

SAD	Diagramme	Liens hypertextes	Données à entrer (manuellement, cases à cocher, etc.)	Arborescence qui s’étend et se contracte	Structuration	Tableaux	Couleurs significatives	Icônes, histogrammes	Éléments de comparaison des antibiotiques
MYCIN			X						
SAD d’Evans et al.			X						X
ICONS			X						X
ADVICE			X		X	X	X		X
TREAT			X		X	X	X	X	X
FCM-uUTI DSS			X						
Antibiogarde	X	X				X	X	X	
Antibiolor		X			X	X			
Antibioclic		X	X						
IAPP Smart phone		X			X		X		
ABX TRIP		X							
ARI Smart form			X		X				
Antibiocarte Version 1				X	X	X	X	X	X

3. RESULTATS

CONTEXTE

Les résultats présentés s'inscrivent dans la continuité du projet Antibiocarte®. Ce projet initié dans notre laboratoire par Duclos et al. est basé sur la visualisation des spectres bactériens de résistance aux antibiotiques (13). Le site web développé présente les fréquences de résistance acquise des bactéries sous forme graphique de manière à les appréhender très rapidement : en un coup d'œil, le médecin peut voir qu'un antibiotique ne doit pas être prescrit car la fréquence de résistance acquise de la bactérie étiologique est trop élevée.

Dans le cadre de cette thèse, nous avons cherché à améliorer deux aspects du site Antibiocarte®.

Le cœur du système. La version actuelle propose une version informatisée des GBPs, ainsi que la visualisation des spectres bactériens. Une des limites de cette approche est que la mise à jour des recommandations est dépendante de la révision des GBPs par les autorités. Afin de pallier cette limite, la première partie de notre travail a consisté à identifier une méthode d'implémentation permettant de générer automatiquement des recommandations, comme le feraient les experts qui écrivent les GBPs.

L'ergonomie du système : la version actuelle présente les situations cliniques sous la forme d'une arborescence difficile à parcourir, ce qui peut gêner l'adoption du SAD par les médecins généralistes. Afin de prendre en compte cette limite, la seconde partie de notre travail a consisté à améliorer le mode d'entrée par situation clinique en utilisant les principes d'utilisabilité.

3.1. UN ALGORITHME UTILISANT DOUZE PROPRIETES D'ANTIBIOTIQUES POUR RETROUVER LES ANTIBIOTIQUES RECOMMANDES, COMME DANS LES GUIDES DE BONNES PRATIQUES CLINIQUES

Publications en rapport avec ce chapitre :

*Tsopra R, Venot A, Duclos C. An algorithm using twelve properties of antibiotics to find the recommended antibiotics, as in CPGs. **Accepté à AMIA 2014.***

*Tsopra R, Venot A, Duclos C. Towards evidence-based CDSSs implementing the medical reasoning contained in CPGs: application to antibiotic prescription. **Stud Health Technol Inform. 2014;205:13-7. Présenté à MIE 2014, Istanbul.***

Dans cette section nous utiliserons les termes :

- « raisonnement profond » pour traduire « deeper reasoning », qui correspond au raisonnement médical qui permet de générer des recommandations.
- « raisonnement superficiel » pour traduire « superficial reasoning », qui correspond aux associations conditions patient / traitement.

3.1.1. Introduction et objectifs

Les premiers SAD ont été développés dans les années 1960. La plupart d'entre eux était des systèmes experts d'aide à la décision diagnostique et/ou thérapeutique dans un domaine médical particulier. Leur développement nécessitait la collaboration d'un expert médical avec un ingénieur (117) : l'ingénieur capturait et implémentait la connaissance et le raisonnement médical de l'expert.

Dans les années 1990, le concept de « médecine fondée sur les preuves » a été introduit (118), et a mené à la production et à la diffusion de GBP par les autorités de santé (119). Cependant, ces guides sont des documents textuels longs, complexes et difficiles à utiliser en pratique clinique courante (6). Pour pallier ces limites, de plus en plus de SAD ont

alors été conçus pour implémenter ces guides (120), plutôt que la connaissance médicale d'un seul expert. Afin de faciliter et standardiser l'implémentation des guides dans les SAD, plusieurs formalismes ont été développés. Ces formalismes permettent d'associer des « actions » (ex : prescrire de l'amoxicilline) à des « conditions patient » (ex : allergie à la pénicilline) de différentes manières : les MLMs dans l'Arden syntaxe (65), les graphes dans EON (121), etc.

Néanmoins, l'implémentation des GBP dans les SAD pose plusieurs problèmes : (i) toutes les situations cliniques ne sont pas décrites dans les GBP (7,122) ; (ii) la mise à jour des connaissances est retardée par rapport à l'évolution des connaissances (123), puisqu'elle dépend de la révision du GBP par les autorités de santé ; (iii) la démarche conduisant aux recommandations n'est pas implémentée, ce qui limite la possibilité de donner des explications aux médecins.

Afin de tenter de surmonter ces limites, nous proposons une approche qui cherche à implémenter le raisonnement médical utilisé par les experts qui conçoivent les guides de bonnes pratiques cliniques. Ceci permettra de déduire les « actions » à partir des « conditions patient », plutôt que d'implémenter directement l'association « conditions – actions ». Dans cette approche, le SAD devrait être capable de retrouver les antibiotiques recommandés dans les GBP, sans l'intervention de l'expert. Par exemple, pour la cystite de la femme, le GBP recommande de prescrire la fosfomycine trométamol :

- (i) L'approche habituelle s'appuie sur un raisonnement superficiel associatif, consistant à implémenter les conclusions de l'expert, c'est-à-dire l'association « *cystite de la femme* -> *fosfomycine trométamol* » (ex : « *Si cystite de la femme Alors fosfomycine trométamol* »).
- (ii) Notre approche s'appuie sur un raisonnement profond. Nous essayons d'implémenter les arguments utilisés par les experts qui écrivent les GBPs, pour recommander un antibiotique, c'est-à-dire « *dans la cystite, l'antibiotique recommandé devrait posséder les propriétés suivantes : être naturellement actif sur E coli, être non contre-indiqué chez le patient, etc.* ». En prenant en compte ces propriétés, le SAD devrait être capable de déduire que la fosfomycine trométamol est l'antibiotique préféré/recommandé, parmi les antibiotiques disponibles.

L'utilisation du raisonnement médical profond, devrait permettre de retrouver les antibiotiques recommandés à partir des conditions patient. Ceci permettrait de couvrir un

nombre plus important de situations cliniques, de faciliter la mise à jour des connaissances et de fournir des explications convaincantes aux médecins.

Les objectifs du travail ont été :

- (i) D'extraire des GBPs le raisonnement médical profond qu'utilisent les experts pour recommander un antibiotique.
- (ii) De trouver la meilleure méthode d'implémentation de ce raisonnement, c'est-à-dire celle permettant de retrouver les antibiotiques recommandés pour un maximum de situations cliniques.

3.1.2. Matériels et méthodes

L'analyse des GBPs a montré que le raisonnement médical profond utilisé par les experts pour recommander un antibiotique plutôt qu'un autre, était fondé sur l'utilisation des propriétés des antibiotiques. Nous avons commencé par identifier ces propriétés, et nous avons ensuite testé et évalué deux méthodes prenant en compte ces propriétés pour reproduire le raisonnement médical des experts.

3.1.2.1. Extraction des propriétés des antibiotiques utilisées par les experts pour recommander un antibiotique

Nous avons d'abord extrait des GBPs les propriétés des antibiotiques utilisées par les experts qui écrivent ces GBPs pour argumenter la recommandation d'un antibiotique plutôt qu'un autre.

Nous avons étudié sept GBPs : cinq étaient produits par la haute autorité de santé (HAS), un par la société européenne de microbiologie et de maladies infectieuses, et un par la société américaine de maladies infectieuses et la société européenne de microbiologie et de maladies infectieuses. Ils concernaient 21 situations cliniques liées à différentes maladies (cystite, pyélonéphrite, prostatite, angine, otite, sinusite et pneumopathie). Nous avons manuellement extrait toutes les expressions liées aux propriétés des antibiotiques, intervenant dans le raisonnement médical et utilisées pour préférer un antibiotique plutôt qu'un autre. Puis, nous avons groupé les expressions similaires en catégories de propriétés. Par exemple, les expressions « sensibilité naturelle » et « activité naturelle » ont été regroupées dans la catégorie « activité naturelle ».

Pour chaque catégorie de propriétés, nous avons créé une question pour déterminer si l'antibiotique considéré possédait la propriété concernée. Par exemple, la propriété « *activité naturelle* » était associée à la question « *est-ce que l'antibiotique a une activité microbiologique suffisante contre les souches sauvages de la bactérie étiologique ?* ». La réponse à la question obtenue à partir du GBP, était utilisée pour déterminer si un antibiotique donné avait la propriété concernée : si la réponse à la question était « *oui* » ou « *non* », alors on considérait que l'antibiotique « *avait* » ou « *n'avait pas* » la propriété concernée, et si la réponse était « *information non disponible* », alors on considérait que « *l'information n'était pas disponible* ».

Nous avons ensuite différencié :

- (i) Les propriétés « *nécessaires* » qu'un antibiotique doit avoir pour être utilisé chez un patient et pour traiter l'infection. Ces propriétés garantissent qu'un antibiotique est à la fois sans risque pour le patient et capable de guérir l'infection. Ces propriétés sont utilisées pour obtenir une liste d'antibiotiques appropriés.
- (ii) Les propriétés « *de préférence* » qu'un antibiotique approprié doit avoir, pour être préféré dans une liste d'antibiotiques appropriés, dans une situation clinique donnée. Ces propriétés permettent de choisir un antibiotique parmi une liste d'antibiotiques qui pourraient être prescrits pour guérir un patient. Ces propriétés sont utilisées pour générer une liste d'antibiotiques recommandés.

3.1.2.2. Utilisation des propriétés des antibiotiques pour reproduire le raisonnement médical profond des experts afin de générer une liste d'antibiotiques recommandés

Ensuite, nous avons essayé de reproduire le raisonnement médical profond utilisé par les experts des GBP pour générer une liste d'antibiotiques appropriés et une liste d'antibiotiques recommandés, à partir des propriétés des antibiotiques. Nous avons testé et comparé deux méthodes pour obtenir la liste des antibiotiques recommandés.

Construction de la liste des antibiotiques appropriés

Pour chaque situation clinique, nous avons une liste d'antibiotiques où chaque antibiotique est un potentiel candidat pour être recommandé. Cette liste initiale

d'antibiotiques candidats contient tous les antibiotiques décrits pour la situation dans le GBP. Elle diffère donc d'une situation clinique à une autre.

Pour chaque antibiotique de cette liste, nous avons cherché à répondre aux questions en rapport avec les propriétés « nécessaires ». Tous les antibiotiques pour lesquels il y avait au moins une réponse « non », ou « pas d'information disponible » ont été exclus de cette liste. Les antibiotiques restant après exclusion, sont considérés comme les antibiotiques appropriés.

Construction de la liste des antibiotiques recommandés avec la méthode 1

La méthode 1 consiste à calculer un score exprimant le niveau de satisfaction d'un antibiotique pour les propriétés de préférence. Les antibiotiques avec le plus haut score sont considérés comme ceux à recommander d'après la méthode 1.

Pour chaque antibiotique de la liste des antibiotiques appropriés, nous avons attribué une valeur selon les réponses aux questions en rapport avec les propriétés « de préférence » : si la réponse était « oui », « non », « information non disponible », alors nous attribuons respectivement les scores « 1 », « -1 » ou « 0 » pour la propriété concernée.

Pour chaque antibiotique approprié, nous avons ensuite calculé la somme des valeurs attribuées aux propriétés de préférence. Nous avons retenu les antibiotiques avec les plus hauts scores, et exclu les autres de la liste. Cette liste finale obtenue avec la méthode 1 contenait les antibiotiques avec le plus haut score, et devrait correspondre à la liste des antibiotiques recommandés dans les GBP.

Construction de la liste des antibiotiques recommandés avec la méthode 2

La méthode 2 consiste à exclure un antibiotique dès qu'une propriété de préférence n'est pas satisfaite. Les antibiotiques restant dans la liste après la séquence de questions, dépendent de l'ordre des questions dans la séquence. Les antibiotiques restant dans la liste, ou si la liste est vide, les antibiotiques exclus à la dernière question, sont considérés comme ceux à recommander d'après la méthode 2.

Pour chaque question successive en rapport avec les propriétés de préférence, nous avons exclu les antibiotiques de la liste pour lesquels la réponse était « non », et gardé ceux pour lesquels la réponse était « oui » ou « information non disponible ».

La liste est ainsi progressivement réduite après chaque question. La liste finale d'antibiotiques à recommander d'après la méthode 2, correspond aux antibiotiques restant

dans la liste, ou si la liste est vide, aux antibiotiques exclus à la dernière question. Cette liste finale devrait correspondre à la liste des antibiotiques recommandés dans les GBP.

Comme la liste finale d'antibiotiques dépend de l'ordre dans lequel les questions sont posées, nous avons testé l'ensemble des séquences de questions possibles sur les 21 situations cliniques, et nous avons sélectionné les séquences qui retrouvaient la liste des antibiotiques recommandés pour un maximum de situations cliniques.

3.1.2.3. Implémentation et évaluation de deux méthodes pour reproduire le raisonnement médical profond des experts des GBPs

Nous avons comparé les deux méthodes, en créant une base de données contenant les situations cliniques et les antibiotiques décrits dans les GBP (34 substances et 11 classes d'antibiotiques) ; ainsi que les propriétés des antibiotiques extraites des GBP. Nous avons implémenté les deux méthodes en PHP.

Nous avons ensuite testé chaque méthode comme décrit ci-après. D'abord, pour chaque situation clinique, nous avons établi :

- Une liste initiale d'antibiotiques candidats pour tester les deux méthodes, correspondant à tous les antibiotiques décrits pour la situation dans le GBP (environ 13 antibiotiques par situation clinique).
- Une liste d'antibiotiques recommandés dans les GBP, qui correspondait au gold standard.

Ensuite, pour chaque situation clinique, nous avons appliqué la méthode, sur la liste initiale des antibiotiques candidats, et obtenu une liste finale d'antibiotiques. La liste finale était comparée avec le gold standard. Si la liste finale des antibiotiques obtenue avec la méthode correspondait exactement à la liste des antibiotiques recommandés dans le GBP, alors la méthode était considérée comme satisfaisante pour la situation clinique.

Puis, nous avons calculé le nombre total de situations cliniques pour lesquelles la méthode était considérée « satisfaisante ».

Enfin, nous avons comparé les deux méthodes, en comparant le nombre de situations cliniques pour lesquelles un résultat satisfaisant était obtenu. La méthode qui « satisfaisait » le plus grand nombre de situations cliniques, était considérée comme la meilleure méthode

pour reproduire le raisonnement médical profond des experts pour la prescription empirique des antibiotiques en ambulatoire.

3.1.3. Résultats

3.1.3.1. Les propriétés des antibiotiques utilisées par les experts pour établir des recommandations

Douze propriétés des antibiotiques ont été retrouvées dans les GBP pour une ou plusieurs situations cliniques (ex : « activité naturelle » était retrouvée dans toutes les situations cliniques, alors que « disponibilité » n'était retrouvée pour une seule situation clinique). Deux types de propriétés ont été différenciés :

- (i) Les propriétés nécessaires (propriétés A à F, tableau 5). Deux de ces propriétés sont liées à l'utilisation des antibiotiques (« *disponibilité* », « *contre-indication* »). Quatre sont liées à l'efficacité potentielle (« *activité naturelle* », « *activité supposée* », « *concentration* », « *preuve de l'efficacité* »). Un antibiotique qui possède ces six propriétés, est considéré comme « approprié ». Par exemple, amoxicilline, ampicilline et pénicilline V sont toutes considérées comme « appropriées » dans l'angine.
- (ii) Les propriétés de préférence (propriétés G à L, tableau 6). Ces propriétés sont liées à l'efficacité des antibiotiques (« *niveau d'efficacité* », « *caractéristiques du protocole* »), à la tolérance (« *effets indésirables* ») ou au risque écologique (« *caractéristiques de classe* », « *spectre d'activité* », « *impact écologique* »). Par exemple, l'amoxicilline est recommandée dans l'angine par rapport à l'ampicilline et la pénicilline, du fait de ses caractéristiques de posologie (courte durée de traitement qui favorise l'observance).

Les informations sur les propriétés décrites dans les GBP ont été obtenues à partir de différentes ressources :

- Résultats d'essais cliniques (propriétés « *preuve de l'efficacité* », « *caractéristiques du protocole* », « *niveau d'efficacité* »).
- Données cliniques (propriétés « *contre-indication* »).
- Données microbiologiques (propriétés « *activité naturelle* », « *activité supposée* », « *spectre d'activité* »).
- Données pharmacocinétiques (propriétés « *concentration dans l'organe infecté* »).
- Données de pharmacovigilance (propriétés « *effets indésirables* »).

- Données sur la commercialisation des médicaments (propriétés « *disponibilité* »).
- Connaissances de l'expert (propriétés « *caractéristiques de classe* », « *impact écologique* »).

Tableau 5 : Propriétés nécessaires utilisées dans le raisonnement médical profond pour la prescription empirique des antibiotiques. La fréquence d'utilisation correspond au nombre de situations cliniques pour lesquelles la propriété est mentionnée.

	Propriétés nécessaires	Questions reliées aux propriétés concernées, avec des exemples de réponses en italique	Fréquence d'utilisation (%)
A	Disponibilité sur le marché	Est-ce que l'antibiotique est commercialisé dans le pays ? <i>Non, le pivmecillinam n'est pas commercialisé en Amérique du nord</i>	1/21 (5)
B	Activité naturelle contre la bactérie étiologique	Est-ce que l'antibiotique a une activité microbiologique suffisante contre les souches sauvages des bactéries étiologiques ? <i>Oui, l'amoxicilline est naturellement active contre Streptococcus pyogenes</i>	21/21 (100)
C	Concentration dans l'organe infecté	Est-ce que l'antibiotique se concentre suffisamment dans l'organe infecté ? <i>Non, la nitrofurantoïne n'atteint pas des concentrations suffisantes dans le rein</i>	16/21 (76)
D	Preuve de l'efficacité clinique	Est-ce que l'efficacité clinique a été prouvée dans la situation clinique ? <i>Oui, les fluoroquinolones ont montré leur efficacité dans la pyélonéphrite, dans un essai contrôlé randomisé</i>	20/21 (95)
E	Activité supposée contre les bactéries étiologiques	Est-ce que la fréquence de résistance acquise de la bactérie étiologique pour l'antibiotique, est basse ? <i>Oui, la fréquence de résistance acquise du Streptococcus pyogenes pour l'amoxicilline est de moins de 10%</i>	21/21 (100)
F	Contre-indication chez le patient	Est-ce que l'antibiotique n'est pas contre-indiqué chez le patient ? <i>Non, la tétracycline est contre-indiqué chez l'enfant de moins de 12 ans</i>	17/21 (81)

Tableau 6 : Propriétés de préférence utilisées dans le raisonnement médical profond pour la prescription empirique des antibiotiques. La fréquence d'utilisation correspond au nombre de situations cliniques pour lesquelles la propriété est mentionnée.

	Propriétés de préférence	Questions reliées aux propriétés concernées, avec des exemples de réponses en italique	Fréquence d'utilisation (%)
G	Caractéristiques du protocole	Est-ce que la posologie et la durée de traitement favorisent l'observance ? <i>Oui, la fosfomycine trometamol est prescrit en dose unique dans la cystite simple</i>	17/21 (81)
H	Caractéristiques de classe	Est-ce que l'antibiotique appartient à une classe non précieuse ? <i>Non, la lévofloxacine appartient à une classe précieuse, qui doit être réservée pour des indications sévères</i>	6/21 (29)
I	Effets secondaires	Est-ce que l'antibiotique est connu pour ne pas avoir d'effets indésirables sévères ou fréquents ? <i>Non, le céfixime est associé à un haut risqué de colite pseudomembraneuse cause par Clostridium difficile</i>	13/21 (62)
J	Niveau d'efficacité (haut, moyen, bas)	Est-ce que l'antibiotique est très efficace ? <i>Oui, la ciprofloxacine est hautement efficace dans la cystite simple de la femme (taux de guérison: 90% [85;98])</i>	17/21 (81)
K	Spectre d'activité	Est-ce que le spectre d'activité de l'antibiotique est étroit ? <i>Non, la lévofloxacine a un spectre d'activité large</i>	4/21 (19)
L	Impact écologique	Est-ce que le risque d'impact écologique de l'antibiotique est faible ? <i>Non, les premières générations de quinolones favorisent l'émergence de résistance</i>	14/21 (67)

3.1.3.2. Nombre de situations cliniques pour lesquelles un résultat satisfaisant a été obtenu avec chaque méthode

Méthode 1 : Attribution d'un score relatif aux antibiotiques (tableau 7)

Avec la méthode 1, nous avons obtenus des résultats satisfaisants pour 16 des 21 situations cliniques (tableau 8). Les cinq situations cliniques pour lesquelles des résultats satisfaisants n'ont pas été obtenus étaient « *la pyélonéphrite simple de la femme enceinte* », « *la cystite simple de la femme* », « *l'angine de l'adulte sans allergie* », « *la sinusite maxillaire de l'adulte sans allergie* », et « *la pneumopathie de l'adulte* ».

Méthode 2 : Exclusion des antibiotiques à travers une séquence de question (figure 23)

En permutant les questions en rapport avec les six propriétés de préférence, on obtient 720 séquences de question ($6! = 720$). Nous avons testé les 720 séquences sur les 21 situations cliniques, et nous avons essayé d'identifier les séquences donnant des résultats

satisfaisants pour un maximum de situations cliniques. Dix séquences ont aussi été identifiées :

“G, H, I, J, L, K” / “G, H, J, I, L, K” / “G, I, H, J, L, K”
 “H, I, J, G, L, K” / “H, I, G, J, L, K” / “H, G, I, J, L, K” / “H, G, J, I, L, K”
 “I, G, H, J, L, K” / “I, H, G, J, L, K” / “I, H, J, G, L, K”

L’analyse qualitative des dix questions a montré que :

- (i) En 1^{ère} et 2^{ème} position de la séquence, nous trouvons toujours les questions en rapport avec les propriétés « G » (caractéristiques de protocole), « H » (caractéristiques de classe) ou « I » (effets indésirables).
- (ii) En 3^{ème} position de la séquence, nous trouvons toujours les questions en rapport avec les propriétés « G » (caractéristiques de protocole), « H » (caractéristiques de classe) ou « I » (effets indésirables) ou « J » (niveau d’efficacité).
- (iii) En 4^{ème} position de la séquence, nous trouvons toujours les questions en rapport avec les propriétés « G » (caractéristiques de protocole), « I » (effets indésirables) ou « J » (niveau d’efficacité).
- (iv) En 5^{ème} position de la séquence, nous trouvons toujours les questions en rapport avec la propriété « L » (impact écologique).
- (v) En 6^{ème} position de la séquence, nous trouvons toujours les questions en rapport avec la propriété « K » (spectre d’activité).

Avec la méthode 2, nous avons obtenus des résultats satisfaisants pour 20 des 21 situations cliniques avec dix séquences de questions (tableau 8). La seule situation pour laquelle un résultat satisfaisant n’a pas été obtenu était « *la cystite simple de la femme* ».

Tableau 7 : Méthode 1 – Attribution d'un score relatif aux antibiotiques. (Cf correspondance des propriétés A à L, tableaux 5 et 6). Exemple de 7 antibiotiques dans l'angine de l'adulte allergique à la pénicilline, sans contre-indication aux bêtalactamines. Les 7 antibiotiques sont tous présents dans la liste initiale des antibiotiques candidats. Deux d'entre eux n'ont pas les propriétés nécessaires, et sont donc exclus de la liste (« amoxicilline » pour la propriété F, et « azithromycine » pour la propriété E). Les cinq antibiotiques restants sont considérés comme appropriés. Pour chacun de ces antibiotiques, nous avons attribué une valeur relative à chacune des propriétés de préférence. La somme de ces valeurs est maximale pour 3 des antibiotiques (« céfuroxime axétil », « céfotiam hexétil », « cefpodoxime proxétil »). Ces antibiotiques sont donc considérés comme les antibiotiques à recommander d'après la méthode 1. Comme ils correspondent exactement au *gold standard* (c'est-à-dire la liste des antibiotiques recommandés dans les GBP), la méthode 1 est considérée comme « satisfaisante » pour cette situation clinique.

	Propriétés nécessaires Réponses aux questions (O: Oui, N: Non)						Propriétés de préférence Attribution d'un score						Somme de G à L	Conclusion
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L		
Amoxicilline	O	O	O	O	O	N	-	-	-	-	-	-	-	Inapproprié
Azithromycine	O	O	O	O	N	O	-	-	-	-	-	-	-	Inapproprié
Céfaclor	O	O	O	O	O	O	-1	0	0	0	0	-1	-2	Approprié
Céfuroxime axétil	O	O	O	O	O	O	1	0	0	0	0	-1	0	Recommandé
Céfotiam hexetil	O	O	O	O	O	O	1	0	0	0	0	-1	0	Recommandé
Cefpodoxime proxetil	O	O	O	O	O	O	1	0	0	0	0	-1	0	Recommandé
Pristinamycine	O	O	O	O	O	O	0	0	0	-1	0	0	-1	Approprié

Tableau 8 : Comparaison des méthodes 1 et 2. La méthode 2 donne des résultats satisfaisant pour un plus grand nombre de situations cliniques que la méthode 1.

	Méthode 1 – Attribution d'un score relatif aux antibiotiques	Méthode 2 – Exclusion des antibiotiques selon une séquence de questions
Nombre de situations cliniques pour lesquelles le résultat est considéré « satisfaisant »	16	20
Nombre de situations cliniques pour lesquelles le résultat est considéré « non satisfaisant »	5	1
Total	21	21

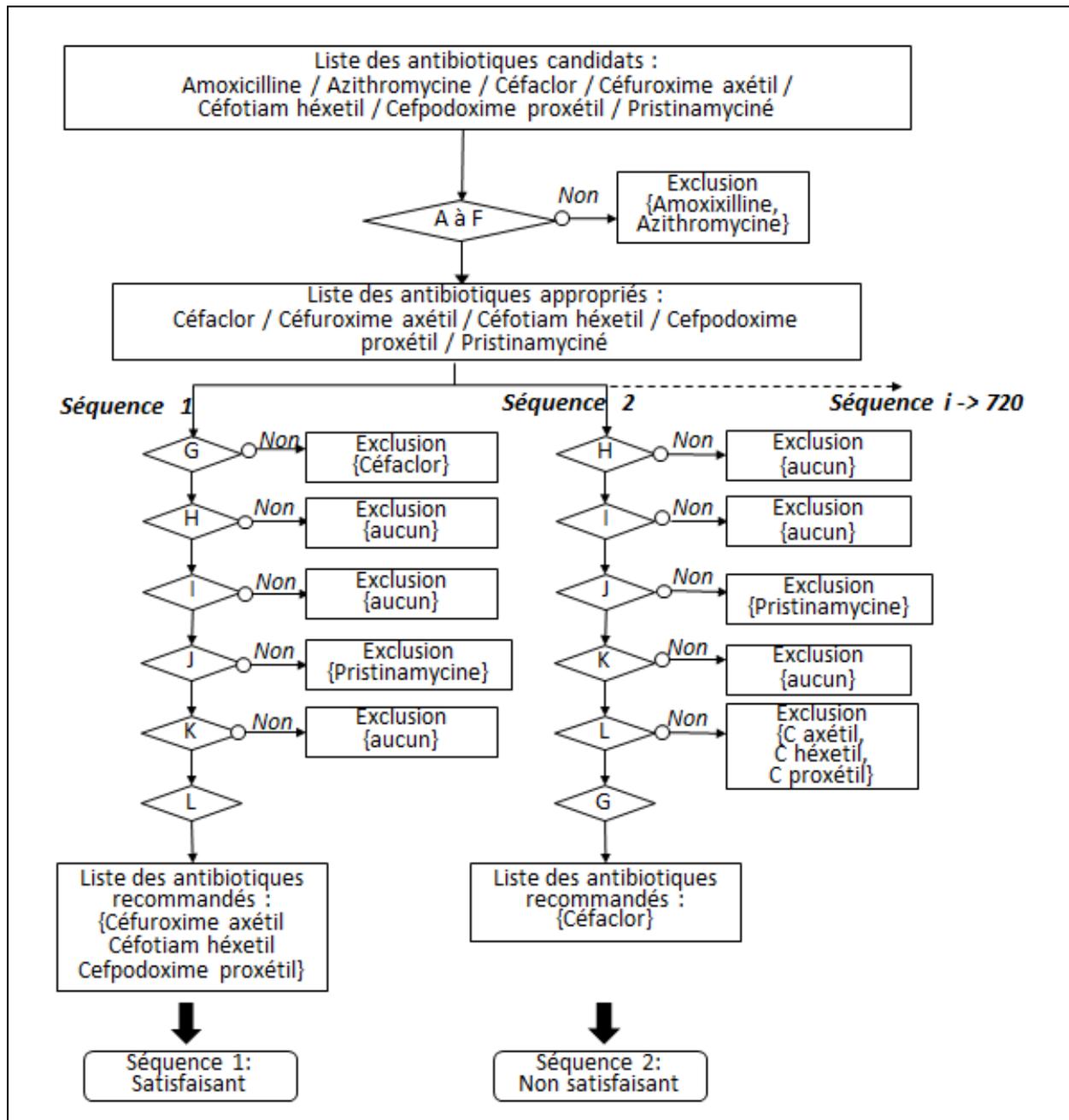


Figure 23: Méthode 2 – Exclusion des antibiotiques selon une séquence de questions (Cf correspondance des propriétés A à L, tableaux 5 et 6). Exemple de 7 antibiotiques dans l’angine de l’adulte allergique à la pénicilline, sans contre-indication aux bétalactamines. Les 7 antibiotiques sont tous présents dans la liste initiale des antibiotiques candidats. Deux d’entre eux n’ont pas les propriétés nécessaires, et sont donc exclus de la liste (« amoxicilline » pour la propriété F, et « azithromycine » pour la propriété E). Les cinq antibiotiques restants sont considérés comme appropriés. 720 séquences de questions sont possibles en permutant les 6 propriétés de préférence. La liste finale des antibiotiques obtenue dépend de l’ordre des questions dans la séquence. La figure illustre les résultats pour deux séquences : la séquence 1 génère une liste de trois antibiotiques (« céfuroxime axétil », « céfotiam hexétil », « cefpodoxime proxétil »), alors que la séquence 2 mène à un seul antibiotique (« céfaclor »). Comme la liste obtenue avec la séquence 1 correspond au *gold standard* (c’est-à-dire à la liste des antibiotiques recommandés dans le GBP), la séquence 1 de la méthode 2 est considérée comme « satisfaisante » pour la situation clinique, alors que la « séquence 2 » ne l’est pas.

3.1.4. Discussion et conclusion

Nos résultats permettent de formaliser le raisonnement médical en antibiothérapie empirique, ce qui n'a jamais été fait à notre connaissance. Nous avons extrait des GBP le raisonnement médical profond, à partir des arguments utilisés par les experts pour formuler des recommandations sur l'utilisation des antibiotiques. Nous avons utilisé ce raisonnement de deux manières : « *attribution d'un score relatif aux antibiotiques* » et « *exclusion des antibiotique selon une séquence de questions* ». La méthode « *d'exclusion* » a permis de reproduire le raisonnement médical le plus précisément, puisqu'elle retrouvait la liste exacte des antibiotiques recommandés pour presque toutes les situations cliniques (20 situations cliniques versus 16 avec la méthode « *attribution d'un score* »). De plus, la seule situation pour laquelle la méthode « *d'exclusion* » n'a pas donné un résultat satisfaisant (cystite simple) ne peut pas vraiment être considérée comme un échec. En effet, dans cette situation, les experts ont écrit une recommandation contenant une liste large d'antibiotiques qui peuvent être recommandés dans différents pays, et dont le choix final dépend du niveau local de résistance acquise. Toutes les propriétés des antibiotiques ont été pondérées avec le même poids. Cette approche ayant donné un score très satisfaisant, nous n'aurions pas obtenu un meilleur résultat en pondérant les propriétés.

Notre approche est différente de celle de MYCIN (117) : (i) nous utilisons les arguments d'un groupe d'experts basé sur l'EBM, et non la connaissance d'un seul expert ; (ii) notre méthode ne nécessite aucune interaction avec le clinicien ; (iii) notre méthode est simple et peut générer des recommandations très rapidement ; (iv) notre méthode permet de proposer aux médecins une vue d'ensemble du raisonnement médical profond utilisé pour générer des recommandations, ce qui n'est pas le cas de MYCIN qui utilise un raisonnement trop complexe pour être présenté aux médecins.

Notre approche peut être utilisée pour concevoir un SAD reproduisant le raisonnement médical profond utilisé par les experts écrivant les recommandations. Habituellement, les SAD implémentent les conclusions du raisonnement médical, c'est-à-dire les « actions » recommandées pour une situation clinique particulière (ex : « *Amoxicilline est recommandée dans l'angine de l'enfant* »). Dans notre approche, nous avons essayé d'implémenter le raisonnement menant à la recommandation afin de déduire automatiquement les antibiotiques à recommander (ex : « *pour être prescrit dans l'angine* »).

de l'enfant, un antibiotique devrait avoir les propriétés A à F, puis successivement les propriétés G, H, I, J, L et K » (cf correspondance tableau 5 et 6)). L'implémentation du raisonnement médical profond plutôt que les conclusions, a plusieurs avantages.

Les recommandations peuvent être justifiées et expliquées aux médecins. Comme le raisonnement médical profond est fondé sur les propriétés des antibiotiques, il peut facilement être compris par les médecins. Par exemple, un médecin peut facilement comprendre qu'un antibiotique qui a prouvé son efficacité clinique et qui est bien toléré par les patients, est préféré à un antibiotique qui a prouvé son efficacité mais qui est mal toléré. La mise à disposition d'explications convaincantes et compréhensibles aux médecins devrait augmenter leur confiance dans le SAD, et favoriser leur adoption (124). Elle devrait aussi faciliter la mise à jour de leurs connaissances (125) et le développement de leur analyse critique (125).

Les recommandations pourraient être mises à jour plus facilement. Comme le raisonnement médical profond est séparé de la base de connaissance contenant les propriétés des antibiotiques, il devrait être plus facile de mettre à jour les recommandations, et ce processus pourrait être instantané (126). Les propriétés des antibiotiques pourraient être mises à jour via différentes ressources. Par exemple, les propriétés microbiologiques (« *activité naturelle* », « *activité supposée* », « *spectre d'activité* ») pourraient être extraits des observatoires de résistance. Les propriétés cliniques (« *contre-indication* »), pharmacocinétiques (« *concentration* ») et liées à la commercialisation (« *disponibilité* ») pourraient être récupérées des bases de données médicamenteuses (13). La propriété « *effets indésirables* » pourrait être mise à jour à partir des données de pharmacovigilance. Les propriétés liées à la connaissance de l'expert (« *caractéristiques de classe* », « *impact écologique* ») pourraient être extraites d'ouvrages de références en maladies infectieuses (ex : Pilly). De même les propriétés liées à la médecine fondée sur les preuves (« *preuve de l'efficacité clinique* », « *caractéristiques du protocole* », « *niveau d'efficacité* ») pourraient être extraites des bases de données documentaires (ex : Medline). L'utilisation d'un raisonnement s'appuyant sur la médecine fondée sur les preuves dans les SAD peut considérablement améliorer la qualité des soins (127,128).

Des recommandations pourraient être proposées pour les situations cliniques non décrites dans les GBP. Par exemple, les situations cliniques décrites dans le GBP sur l'angine sont {adulte ; enfant < 6 ans ; enfant 6-12 ans ; enfant > 12 ans} ET { sans allergie aux bêtalactamines ; avec allergie à la pénicilline et sans contre-indication aux céphalosporines ;

avec contre-indication aux bêtalactamines }. La situation « angine chez la femme enceinte » n'est pas décrite. Avec notre approche, le système pourrait déterminer quels sont les antibiotiques qui devraient être recommandés dans cette situation, en excluant tous les antibiotiques contre-indiqués chez la femme enceinte. De plus, la liste des antibiotiques appropriés pourrait être utilisée par les médecins, lorsqu'ils ne peuvent pas prescrire l'antibiotique recommandé. Par exemple, dans la cystite de la femme, si le médecin souhaite ne pas prescrire l'antibiotique recommandé (fosfomycine trométamol) parce qu'il a été mal toléré chez la patiente dans le passé, il peut sélectionner une alternative à partir de la liste des antibiotiques appropriés. La mise à disposition de recommandations ajustables quelle que soit la situation clinique devrait augmenter l'adhérence des médecins aux recommandations (129).

Cette étude nécessite d'être complétée sur plusieurs points.

En confirmant la robustesse de notre approche en étendant l'évaluation à d'autres situations cliniques et à tous les antibiotiques disponibles sur le marché. Les deux méthodes ont été évaluées pour les infections urinaires et respiratoires, et uniquement pour les antibiotiques décrits dans les GBPs. Ces méthodes devraient maintenant être testées pour d'autres situations cliniques (ex : infections sexuellement transmissibles, situations cliniques rencontrées à l'hôpital, etc.), et pour tous les antibiotiques disponibles sur le marché.

En confirmation la validité des recommandations générées par cette méthode pour les situations cliniques non décrites dans les GBPs, et pour la mise à jour des GBPs. Notre approche a été testée uniquement pour les situations cliniques décrites dans les GBPs, et non pour les autres situations cliniques. Il sera nécessaire de tester cette méthode pour les situations cliniques non décrites dans les GBPs, en prenant en compte l'opinion des experts spécialisés dans la prescription des antibiotiques comme *gold standard* (puisque ces situations ne sont pas décrites dans les GBPs).

En vérifiant la complétude de la liste des propriétés d'antibiotiques identifiées dans les GBP. Nous avons extrait des GBP, les propriétés des antibiotiques les plus importantes pour le raisonnement médical. Il serait utile de recueillir l'avis des cliniciens spécialisés en maladies infectieuses pour s'assurer que la liste est complète.

En déterminant de quelle manière notre approche pourrait être extrapolée à d'autres domaines médicaux. L'utilisation du raisonnement médical profond basé sur les

arguments des experts qui écrivent les GBPs, est particulièrement adaptée au domaine de l'antibiothérapie, car les arguments sont explicites et sont liés aux propriétés des médicaments. Dans d'autres domaines, d'autres arguments seront probablement à prendre en compte, comme par exemple ceux relatifs au raisonnement temporel dans les maladies chroniques, ou ceux en rapport avec les combinaisons des médicaments. L'extrapolation de cette approche à d'autres domaines devra être évaluée.

En conclusion, nous proposons une méthode reproduisant le raisonnement médical profond basé sur les arguments qu'utilisent les experts qui écrivent les GBPs pour recommander un antibiotique. La robustesse de cette méthode devra être évaluée dans une autre étude avant son implémentation dans le SAD Antibiocarte®, destiné à aider les médecins lors de la prescription empirique des antibiotiques en soins primaires. Le SAD sera ensuite évalué en pratique clinique courante.

3.2. CONCEPTION D'UNE INTERFACE « EN UN COUP D'ŒIL »

Publications en rapport avec ce chapitre :

*Tsopra R, Lamy JB, Venot A, Duclos C. Design of an original interface to facilitate the use of infectious clinical guidelines by physicians in primary care. **Stud Health Technol Inform.** 2012;180:93-7.*

*Tsopra R, Venot A, Duclos C. Conception d'une interface pour favoriser la prise en compte des recommandations lors de la décision d'une antibiothérapie probabiliste. **Informatique et Santé**, 2011 (18) : 205-216, Springer – Verlag.*

3.2.1. Introduction et objectifs

Une première version du site Antibiocarte® a été développée en 2004. Il s'agit d'une interface navigation-guidée dans laquelle le processus de décision est présenté sous forme d'une arborescence « qui s'étend et se contracte » (3). L'interface est divisée en trois zones (figure 24) :

- La zone A contient les critères d'orientation étiologique et thérapeutique à l'intérieur de chaque nœud de l'arborescence. Ils peuvent être visualisés en cliquant avec la souris sur le nœud correspondant. Chaque nœud est une spécialisation du nœud précédent.
- La zone B, à droite, s'affiche uniquement si la prise en charge recommandée est une hospitalisation, une prescription d'examens complémentaires, une surveillance ou un traitement symptomatique.
- La zone C, en bas, s'affiche uniquement si la prise en charge recommandée est une prescription d'antibiotiques.

Cette interface n'affiche pas la connaissance supposée être connue par les médecins comme les critères d'hospitalisation ou les définitions.

Les médecins naviguent manuellement via l'interface. Ils cliquent sur chaque nœud de l'arborescence (zone A) jusqu'à ce qu'ils arrivent à la feuille de la hiérarchie, correspondant à

la situation clinique du patient. Lorsqu'ils cliquent sur la feuille, la zone B ou C s'illumine en fonction de la prise en charge recommandée : (i) si la prise en charge recommandée est une hospitalisation, une prescription d'examen complémentaires, une surveillance ou un traitement symptomatique alors la zone B s'affiche ; (ii) si la prise en charge recommandée est une prescription d'antibiotiques alors la zone C s'affiche. La zone C contient le nom des bactéries, et un bouton à cliquer menant à une troisième page, qui affiche les antibiotiques et leurs spectres d'activité. Les antibiotiques recommandés sont tagués.

Cependant, cette interface présente quelques limites :

- Plusieurs clics sont nécessaires pour naviguer dans le processus de décision.
- La visualisation de l'ensemble des prises en charge possibles pour une même pathologie n'est pas possible (il est nécessaire d'étendre chacun des sous-items pour avoir une vue d'ensemble).

Ces limites rendent la navigation longue, complexe et fastidieuse, ce qui peut empêcher l'adoption du système par les médecins généralistes.

Pour pallier ces limites, l'objectif de notre travail a consisté à créer une nouvelle interface minimisant le temps d'interaction et facilitant l'utilisation d'Antibiocarte® par les médecins (116).

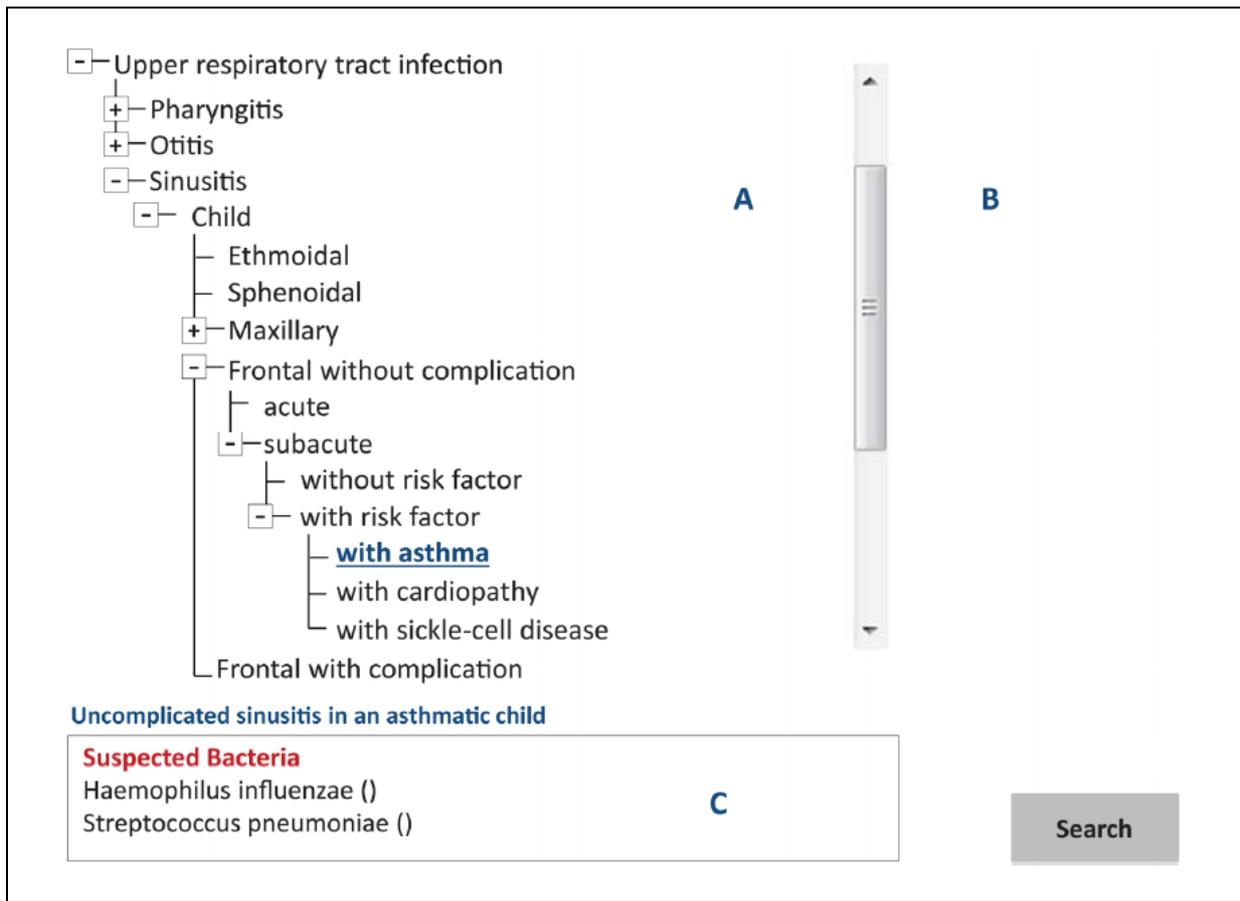


Figure 23 : L'interface qui « s'étend et se contracte » de la première version du site Antibioarte® (130). Exemple de la sinusite frontale non compliquée chez l'enfant asthmatique. Le médecin navigue manuellement dans le processus de décision : il doit cliquer sur six croix avant d'arriver à la feuille de l'arborescence. Lorsqu'il clique sur la feuille, la zone C s'illumine : le nom des bactéries en cause (*Haemophilus influenzae*, *Streptococcus pneumoniae*) s'affiche, et le médecin doit cliquer sur le bouton « search » pour atteindre la troisième page qui mène aux spectres d'antibiotiques.

3.2.2. Matériels et méthodes

Pour créer cette nouvelle interface, nous avons besoin de comprendre le processus de décision utilisé dans le traitement des pathologies infectieuses. Ceci a nécessité plusieurs étapes (116).

La première étape a consisté à identifier les variables de décision et d'action intervenant dans le processus de décision. Pour cela, nous avons d'abord analysé toutes les recommandations de bonnes pratiques cliniques sur le sujet. Nous avons extrait manuellement tous les termes liés au processus de décision, et nous les avons groupés en catégories de variables (exemple : « fièvre » a été inclus dans la catégorie « symptôme »).

Les variables de décision ont ensuite été clarifiées et désambiguïsées (exemple : « cystite simple » signifie « cystite sans uropathie et sans comorbidités »).

La deuxième étape du travail a consisté à modéliser le processus de décision utilisé dans le traitement des pathologies infectieuses. Pour cela, nous avons déterminé pour chaque recommandation, le rang d'apparition de chaque catégorie de variables dans le processus décisionnel. Puis, en fonction de la fréquence d'apparition des variables de décision dans le processus décisionnel, nous avons modélisé le processus de décision.

La troisième étape du travail a consisté à concevoir l'interface à partir du processus de décision et des principes d'utilisabilité suivants : « simplicité », « naturel », « consistance », « minimisation de la charge cognitive », « interactions efficaces », « anticipation », « utilisation efficace du langage », « présentation efficace de l'information », « préservation du contexte ».

La dernière étape du travail a consisté à vérifier que l'interface avait bien un caractère générique, c'est-à-dire qu'elle permettait d'interfacer l'ensemble des recommandations de bonnes pratiques cliniques en antibiothérapie empirique. Pour cela, nous avons testé l'interface sur l'ensemble des recommandations.

3.2.3. Résultats

3.2.3.1. Extraction des variables de décision et d'action

Huit recommandations de bonnes pratiques cliniques ont été étudiées. Elles concernaient les infections respiratoires hautes (angine, otite moyenne aiguë, sinusite), les infections respiratoires basses (pneumopathie, exacerbations de BPCO, bronchite, bronchiolite), les infections urinaires (cystite, pyélonéphrite, prostatite), les infections de la peau, les infections à *Helicobacter pylori*, et les infections sexuellement transmissibles (urétrite, cervicite).

Cinq variables d'action correspondant aux différents types de prise en charge possible, ont été identifiées :

- prescription d'antibiotiques ;
- non prescription d'antibiotiques ;
- prescription d'examens complémentaires ;

- surveillance ;
- hospitalisation.

Deux types de variables de décision ont été identifiés :

- Les critères d'hospitalisation ;
- Les critères d'orientation étiologique et thérapeutique. Pour chacune des pathologies, l'un ou plus de ces critères est organisé sous la forme d'une hiérarchie menant à une action. Le rang d'apparition de ces critères dans la hiérarchie varie selon la pathologie (tableau 9) : l'âge, le genre et la grossesse apparaissent toujours en premier, alors que les autres critères (facteurs de risque, score, sous localisation de l'infection, signes et symptômes, stade, évolution, test et vaccination) apparaissent toujours en deuxième, troisième ou quatrième position.

Tableau 9 : Fréquence (en %) du rang d'apparition des variables de décision parmi l'ensemble des pathologies (n=14) (116).

<i>Critères d'orientation étiologique et thérapeutique</i>	<i>Rang d'apparition</i>				<i>Exemple</i>
	1	2	3	4	
Age	71	0	0	0	Enfant de moins de trois ans
Genre	21	0	0	0	Homme
Grossesse	21	0	0	0	Femme enceinte
Facteurs de risque	0	29	7	14	Voyage en Afrique
Score	0	7	0	0	Score de Mac Isaac's
Sous-localisation	0	14	0	0	Sinusite Maxillaire
Signes, symptômes	0	43	21	0	Fièvre
Test	0	7	14	0	Test de diagnostic rapide
Stade	0	7	0	0	Stade 1 de la BPCO
Evolution	0	29	14	0	Douleur persistante
Vaccination	0	14	0	0	Vaccination

3.2.3.2. Description du processus de décision utilisé dans le traitement des pathologies infectieuses (figure 25)

Pour chaque pathologie, les variables « âge », « genre » et « grossesse » sont les premières variables à considérer dans la décision thérapeutique. Puis, si des critères d'hospitalisation ou de gravité sont présents, alors l'action est « hospitalisation ». S'ils sont absents, alors l'action dépend de l'étiologie de l'infection (virale ou bactérienne), qui est déduite en fonction des valeurs prises par un ou plusieurs critères d'orientation étiologique :

- Si l'étiologie est virale, alors l'action est « non prescription d'antibiotiques ».

- Si l'étiologie est indéterminée, alors l'action est « surveillance » ou « prescription d'examens complémentaires ».
- Si l'étiologie est bactérienne, alors l'action est « prescription d'antibiotiques ». Dans ce cas, les antibiotiques pouvant être prescrits sont déterminés selon : (i) la concentration tissulaire de l'antibiotique dans l'organe infecté qui est déduite de la pathologie ; (ii) les contre-indications qui sont déduites des variables « âge » et « grossesse » ; (iii) les susceptibilités et fréquences de résistance acquise qui sont calculées en fonction de la bactérie supposée étiologique (la bactérie étiologique est déduite à partir des valeurs prises par les critères d'orientation étiologique).

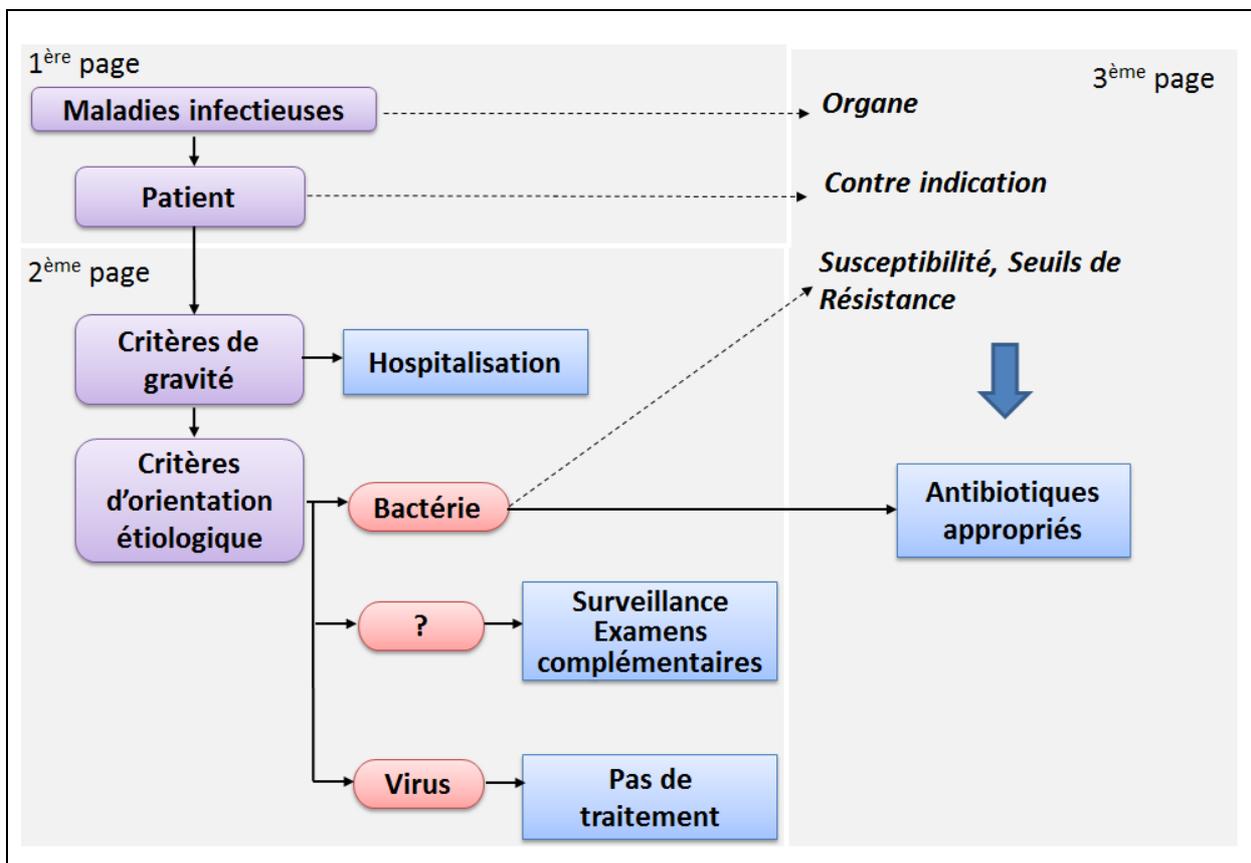


Figure 24 : Processus de décision déterminant la prise en charge recommandée dans le traitement des maladies infectieuses (116).

3.2.3.3. *Design de l'interface*

La nouvelle interface s'appelle l'interface « en un coup d'œil ». Elle a été construite selon le processus de décision précédemment décrit, et les principes d'utilisabilité (116,130) (tableau 10). Elle est divisée en cinq zones (figure 26) :

- La zone A est une sorte de représentation Treemap présentant les alternatives du processus de décision dans un langage concis. La dernière colonne affiche l'action recommandée avec une couleur intuitive (rouge : non prescription ; vert : prescription d'antibiotiques ; orange : surveillance ou prescription d'examen complémentaires ; noir : hospitalisation). Les cases vertes sont cliquables et mènent à une troisième page qui affiche les antibiotiques et leurs spectres. Un lien hypertexte menant au texte original de la recommandation est aussi proposé. La zone A est la première à être lue grâce à sa position en haut et à gauche de l'écran.
- Les zones B et C, situées en dessous de la zone A, contiennent des éléments qui explicitent les termes utilisés dans la zone A. La zone B rappelle la définition des termes employés, et la zone C rappelle les scores et facteurs de risque utilisés.
- La zone D, à droite de l'écran, affiche les critères d'hospitalisation sous forme d'un résumé graphique appelé « Monsieur VCM », et développé dans notre laboratoire par Lamy et al. (95–97,131) (exemple : un cerveau illuminé rouge signifie que le patient devrait être hospitalisé s'il présente des troubles neurologiques).
- La zone E, à droite de l'écran, montre les situations non concernées par la recommandation.

L'interface a été conçue selon une approche « space-filling », car elle optimise l'affichage de l'ensemble des connaissances nécessaires au médecin lors de la prescription d'antibiotiques, même celles supposées connues telles que les critères d'hospitalisation ou les définitions.

Le médecin sélectionne en premier la pathologie infectieuse et le profil patient. Il accède ensuite à la seconde page contenant l'interface « en un coup d'œil ». Sur cette page, le médecin navigue visuellement dans le processus de décision en parcourant le tableau de la zone A de gauche à droite, jusqu'à arriver à la feuille de la hiérarchie. Si l'action est « hospitalisation », « prescription d'examen complémentaires », « surveillance » ou « non prescription », alors la dernière colonne affiche l'action avec des couleurs intuitives. Si

l'action est « prescription d'antibiotiques », alors le médecin clique sur la case verte pour accéder à la troisième page, qui affiche les antibiotiques et leurs spectres d'activité. Les antibiotiques recommandés sont tagués. Au total, le médecin visualise au maximum deux à trois écrans différents.

Sinusite de l'enfant [Accès au texte original de la recommandation](#)

Maxillaire Frontale sans complication	Subaiguë	0 fdr	Pas d'antibiotique
		>= 1 fdr	Antibiotique
	Aiguë		Antibiotique
Frontale avec complication Ethmoïdale Sphénoïdale			Hospitalisation

Critères d'hospitalisation

Définition

Maxillaire	> 3 ans Fièvre (J3), Céphalée Douleur à la pression des sinus Toux, Mauvaise haleine Œdème ou Erythème de la face
Frontale	> 10 ans Douleur sus orbitaire, unilatérale, pulsatile
Ethmoïdale Aiguë Suppurée Externalisée	6 mois à 5 ans Fièvre Œdème palpébral inflammatoire à l'angle Interne de l'œil et à la paupière supérieure

	Température	Rhinorrhée	Œdème
Aiguë	> 39°C	Suppurée	+/-
Subaiguë	< 39°C	Claire ou Suppurée	0

Facteurs de risque (fdr)

- 1) Asthme
- 2) Cardiopathie
- 3) Drépanocytose

Hors recommandation

Immunodéficience

Figure 25 : Antibiocarte® - L'interface « en un coup d'œil ». Toutes les situations cliniques peuvent être implémentées avec l'interface « en un coup d'œil ». Exemple de la sinusite frontale non compliquée chez l'enfant asthmatique. Le médecin visualise en premier la zone A, située en haut et à gauche de l'écran. Il parcourt visuellement le processus de décision du tableau jusqu'à arriver à la feuille de la hiérarchie. La dernière colonne affiche l'action recommandée avec des couleurs intuitives. Dans notre exemple, l'action est verte correspondant à la prescription d'antibiotiques. Le médecin doit cliquer sur cette case verte pour accéder à la 3^{ème} page qui affiche les spectres d'activité des antibiotiques. Les zones B, C, D sont facultatives : le médecin ne les consulte que s'il a besoin d'un rappel sur les définitions (zone B et C) et les critères d'hospitalisation (zone D). Dans la zone B, les informations sont affichées sous forme d'un tableau comparatif afin de faciliter la lecture. Les critères d'hospitalisation sont représentés sous forme d'un résumé graphique : Monsieur VCM. Dans notre exemple, l'œil de Mr VCM est rouge, ce qui signifie qu'en cas de troubles oculaires il est recommandé d'hospitaliser le patient. Si le médecin a besoin de plus de détails, il peut accéder à une info bulle en passant la souris sur l'œil rouge. La zone E affiche les situations hors recommandation.

Tableau 10 : Lien entre les techniques de design et les principes d'utilisabilité utilisés pour concevoir l'interface « en un coup d'œil » (130).

Techniques de design utilisé	Effets sur la visualisation du processus de décision	Simplicité	Naturel	Consistance	Minimisation de la charge cognitive	Interactions efficaces	Oublie et retour	Utilisation efficace du langage	Présentation efficace de l'information	Préservation du contexte
Approche « Space-filling »	La quantité d'information disponible dans l'espace d'affichage est maximisée								x	
Organisation en cinq zones fixes. Chaque zone contient le même type d'information, quelle que soit la situation clinique.	Les recherches à l'écran sont facilitées, parce que les médecins savent où trouver l'information dont ils ont besoin	x		x	x		x		x	
Positionnement de l'information. L'information la plus importante est proéminente et positionnée en haut et à gauche de l'écran (zone A)	L'information la plus importante est sûre d'être lue								x	
Utilisation d'un langage concis pour décrire les variables de décision et d'action (zone A)	La lecture est améliorée	x						x		
Lecture du processus de décision de gauche à droite	La lecture est améliorée		x						x	
Affichage des rappels de définitions et facteurs de risque (zones B and C)	Le processus de décision est désambiguïsé La confiance du médecin est augmentée				x			x		
Affichage des critères d'hospitalisation avec Mr VCM	La densité de l'information est réduite	x							x	
Utilisation d'un contraste acceptable entre le texte et le fond d'écran	La lecture est améliorée								x	
Utilisation de couleurs significatives	La lecture est améliorée		x						x	
Visualisation de moins de trois écrans	La navigation est facilitée					x				x
Présentation des alternatives du processus de décision	Le médecin a une vue globale du processus de décision				x	x				
Affichage d'un lien hypertexte vers le texte original de la recommandation	La confiance du médecin est augmentée									x

3.2.3.4. *Evaluation de la généricité de l'interface*

Un maquettage de la page 2 de l'interface a été réalisé afin de s'assurer que l'ensemble des recommandations pouvait être correctement interfacé en utilisant ce modèle (116,132). Les recommandations disponibles ont été découpées en 34 sous recommandations associées à un terrain (âge, grossesse). Pour 3 de ces recommandations, il n'y a pas d'éléments nécessitant l'affichage de la page 2. Les autres ont un tableau décisionnel en page 2, associé pour 14 d'entre elles à des tableaux cliniques, pour 10 d'entre elles à des scores ou facteurs de risque, pour 13 d'entre elles à des critères d'hospitalisation et pour 19 d'entre elles à des informations sur les situations hors recommandations. Ainsi, l'interface « en un coup d'œil » développée est applicable à toutes les recommandations étudiées.

3.2.4. **Discussion et conclusion**

Nous avons étudié de nombreux guides de bonnes pratiques cliniques qui concernent le traitement des pathologies infectieuses en ambulatoire. A partir de cette analyse, nous avons établi un modèle général du processus de décision utilisé pour le traitement des pathologies infectieuses en ambulatoire. En utilisant ce modèle, nous avons identifié l'ensemble des informations à afficher aux médecins, et nous l'avons segmenté en trois pages. La deuxième page, développée selon les principes d'utilisabilité, contient le processus décisionnel visualisable en « en un coup d'œil ».

L'interface proposée présente plusieurs avantages :

- (i) Elle est intuitive, simple et ne nécessite aucun apprentissage grâce aux différentes modalités de représentation utilisées : format textuel limité, tableaux simplifiés avec un seul sens de lecture, résumé graphique sous forme d'un Mr VCM facilement compréhensible par les médecins (96), jeu de couleurs intuitif.
- (ii) Son organisation structurée et constante permet de diminuer le temps d'interaction avec l'interface, puisque le médecin sait où retrouver l'information souhaitée. Ce temps est estimé entre 30 secondes et 2 minutes selon la situation clinique. Un temps de recherche court est un critère de succès important dans la recherche d'information (133).

- (iii) Toute l'information, même celle supposée connue par les médecins, est affichée. Ce qui permet de limiter le risque d'erreurs médicales liées une mauvaise compréhension des termes utilisés dans le processus décisionnel.
- (iv) La présentation des éléments du raisonnement (orientation étiologique, arguments sur la sensibilité des bactéries) permet au médecin de comprendre la logique de la recommandation et ainsi de renforcer son adhésion (134). De même l'amélioration de l'utilisation de la recommandation grâce à un effort ergonomique dans son implémentation devrait permettre de renforcer cette adhésion (135) et d'éviter que des recommandations existantes soient ignorées (136).

Néanmoins, la principale limite de notre approche est que l'interface a été conçue sans faire appel à un panel de médecins généralistes qui auraient pu exprimer leurs besoins et leurs attentes. Afin de s'assurer que l'interface créée satisfait les futurs utilisateurs, il nous a donc paru important de la faire évaluer par des médecins généralistes. Cette évaluation est décrite à la section suivante (*section 3.3*).

3.3. EVALUATION DE L'INTERFACE « EN UN COUP D'ŒIL » PAR LES MEDECINS GENERALISTES

Publications en rapport avec ce chapitre :

Tsopra R, Jais JP, Venot A, Duclos C. Comparison of two kinds of interface, based on guided navigation or usability principles, for improving the adoption of computerized decision support systems: application to the prescription of antibiotics. J Am Med Inform Assoc. JAMIA 21(e1) (2014), e107-116.

3.3.1. Introduction et objectifs

Deux versions d'Antibiocarte® ont été créées :

- La première version est une interface navigation-guidée dans laquelle le processus de décision est présenté sous forme d'une arborescence « qui s'étend et se contracte » (3).
- La deuxième version est une interface « en un coup d'œil » construite selon les principes d'utilisabilité et selon le processus de décision utilisé dans le traitement des pathologies infectieuses (116,130).

Afin de déterminer si la nouvelle interface satisfait plus les médecins généralistes, l'objectif de notre travail a consisté à faire évaluer de manière comparative les deux interfaces (interface navigation-guidée versus interface construite selon les principes d'utilisabilité), en termes d'utilisabilité, de justesse et de confiance, par des médecins généralistes, futurs utilisateurs du système.

3.3.2. Matériels et méthodes

3.3.2.1. Méthodes d'évaluation de l'interface

Schéma de l'étude

Afin de comparer l'utilisabilité perçue entre les deux interfaces, nous avons mené une évaluation de type cross-over où le sujet a été pris comme son propre témoin et l'ordre

d'évaluation de l'interface a été randomisé. L'évaluation s'est faite à distance, par internet, avec le navigateur Firefox.

Les médecins ont été contactés par e-mails envoyés à des associations de médecine générale. Trente-huit médecins ont accepté de participer et ont été randomisés en deux groupes (figure 27). Dans chaque groupe, l'évaluation était réalisée en ligne et comportait les étapes suivantes :

- Lire un court manuel décrivant les interfaces et expliquant l'évaluation.
- Remplir un questionnaire sur les caractéristiques démographiques.
- Se connecter en ligne en utilisant un identifiant et un mot de passe.
- Répondre à deux cas cliniques tests, puis à dix cas cliniques pour chaque interface.
- Remplir l'échelle SUS (System Usability Scale) pour chaque interface.
- Ecrire éventuellement des commentaires libres pour chaque interface.

Constitution de deux jeux de cas cliniques

Nous avons extrait 150 situations cliniques à partir de cinq guides de bonnes pratiques cliniques. Ces 150 situations cliniques ont été utilisées pour créer 150 cas cliniques portant sur les infections urinaires, respiratoires hautes et basses, et menant potentiellement à différents types d'action (« prescription d'antibiotiques », « pas de prescription d'antibiotiques », « hospitalisation », « prescription d'examen complémentaires », « surveillance »). Par exemple, la situation clinique « *Pneumopathie chez l'enfant de moins de trois ans sans signe de gravité* » a été convertie en « *Théo, deux ans présente une toux depuis deux jours. Sa température est de 40°C. L'auscultation retrouve des râles crépitants à la base droite du poumon. Il n'y a pas de signes de sévérité. Le diagnostic de pneumopathie de la base droite est posé. Quel traitement prescrivez-vous ?* ».

Trois randomisations des 150 cas cliniques ont été réalisées. La première randomisation a conduit à deux cas cliniques, utilisés pour tester chacune des interfaces au début de l'évaluation. Ces cas tests permettaient aux médecins de s'habituer aux interfaces. La deuxième et la troisième randomisation ont conduit à deux jeux de cas cliniques, utilisés pour l'évaluation. Ces randomisations ont été stratifiées selon (i) le type d'action (ex : prescription d'antibiotiques), (ii) la pathologie (ex : cystite), et (iii) la présence d'allergie (ex : allergie à la pénicilline). La deuxième randomisation a conduit à un « jeu A » de dix cas cliniques, utilisé pour évaluer l'interface « qui s'étend et se contracte ». La troisième

randomisation a conduit à un « jeu B » de dix cas cliniques, utilisé pour évaluer l'interface « en un coup d'œil ». La randomisation des cas cliniques a garanti la similarité des jeux A et B de cas cliniques.

Distribution des cas cliniques par groupes de médecins

Les médecins du groupe 1 ont d'abord évalué l'interface « qui s'étend et se contracte » en répondant au jeu A de cas cliniques, et en complétant l'échelle SUS pour cette interface. Puis, ils ont évalué l'interface « en un coup d'œil » avec le jeu B et l'échelle SUS (figure 27).

Les médecins du groupe 2 ont d'abord évalué l'interface « en un coup d'œil » en répondant au jeu B de cas cliniques, et en complétant l'échelle SUS pour cette interface. Puis, ils ont évalué l'interface « qui s'étend et se contracte » avec le jeu A et l'échelle SUS (figure 27).

Pour chaque évaluateur, et pour chaque jeu de cas cliniques, nous avons randomisé l'ordre des cas cliniques. Dans les deux groupes, les médecins se sont familiarisés avec les deux interfaces en utilisant les deux cas cliniques tests, avant de commencer l'évaluation.

3.3.2.2. Analyse statistique

L'utilisabilité perçue a été mesurée en calculant le score SUS. L'échelle SUS contient 10 items et chaque item est évalué avec une échelle de Likert. Les médecins indiquaient leur degré d'accord pour chaque item sur une échelle de 5, ce qui permettait ensuite de calculer le score SUS total, qui se situe entre 0 et 100.

La justesse des réponses a été mesurée en déterminant le nombre de réponses correctes pour chaque cas clinique. On considérait la réponse « correcte » si l'action choisie par le médecin correspondait à l'action recommandée dans les guides de bonnes pratiques cliniques, quel que soit le rang de recommandation.

Le niveau de confiance a été mesuré avec une échelle de Likert sur 4 points pour chaque cas clinique. On considérait que le médecin avait « confiance » dans le système s'il indiquait les niveaux 3 ou 4 sur l'échelle de Likert.

Chaque question de l'échelle SUS prise individuellement, ainsi que les commentaires libres ont aussi été étudiés.

Le score SUS, le nombre de réponses correctes, et la confiance dans les deux interfaces ont été comparés en utilisant le logiciel R Version 2.15.1. Les scores SUS ont été comparés avec une analyse de variance sur mesures répétées. Le nombre de réponses correctes et la confiance ont été comparés avec un modèle de régression logistique sur séries appariées. Des sous-groupes d'analyse ont été réalisés par type d'action.

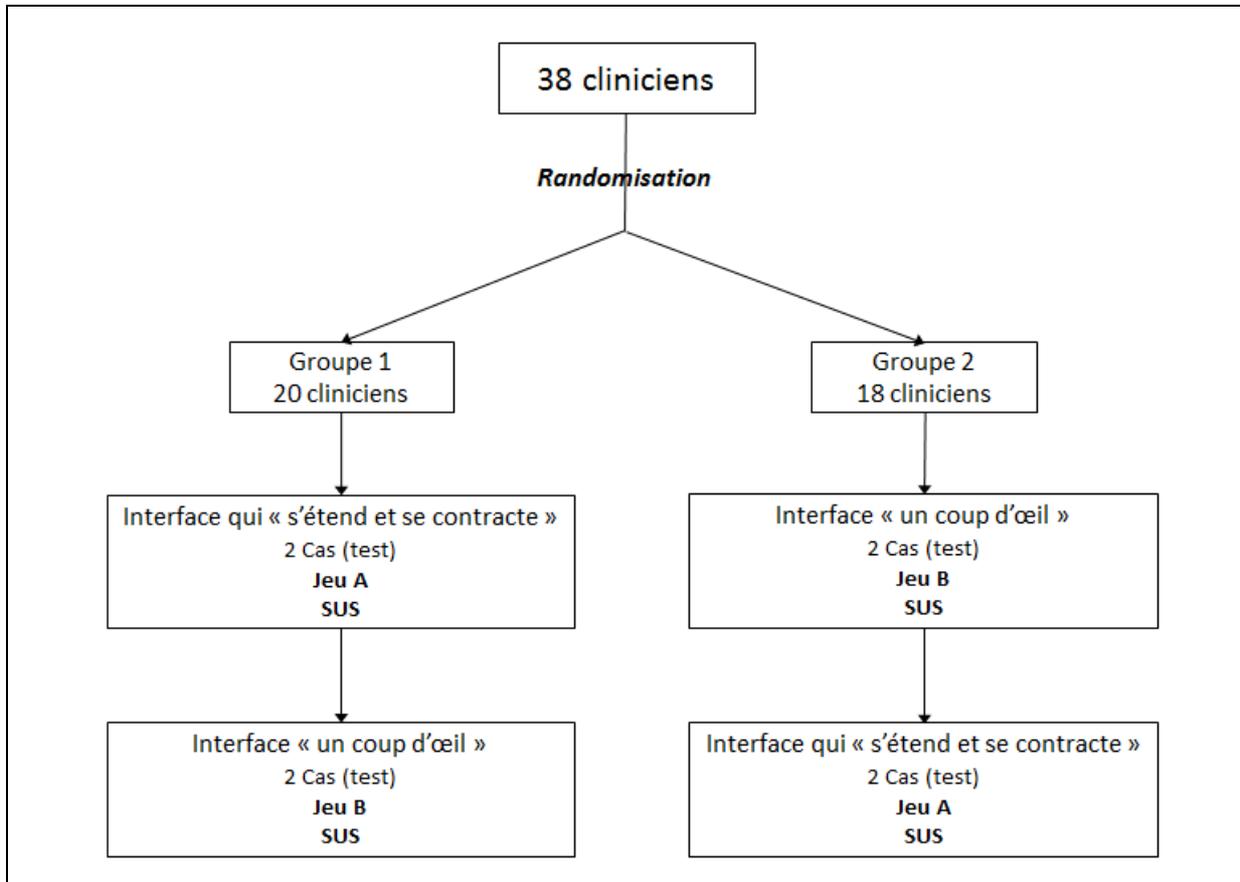


Figure 26 : Etude crossover - Les jeux A et B sont considérés comme similaires grâce à la randomisation. Pour chaque médecin, l'ordre des cas cliniques a été randomisé dans chaque jeu.

3.3.3. Résultats

3.3.3.1. Caractéristiques des médecins

Il n'y avait pas de différence significative entre les caractéristiques des médecins des groupes 1 et 2 (tableau 11). Aucun n'était daltonien, et aucun n'avait reçu une formation sur l'antibiothérapie dans les douze derniers mois. Tous travaillaient dans des cabinets informatisés. Trois ont été exclus car ils n'avaient évalué qu'une des deux interfaces.

Tableau 11 : Caractéristiques des médecins (SD = Standard Deviation).

	Groupe 1 (n=18)	Groupe 2 (n=17)	valeur de p
Femme	67%	65%	1
Age moyen (années)	31 (SD=3)	30 (SD=2)	0.29
Nombres d'années d'exercice moyen (années)	3 (SD=2)	1.9 (SD=1)	0.096
Nombre moyen de patients vus par semaine	69 (SD=35)	60 (SD=24)	0.36
Nombre moyen d'antibiotiques prescrits par semaine	11.7 (SD=11)	7.3 (SD=5)	0.15

3.3.3.2. Utilisabilité perçue

Le score SUS était significativement plus élevé avec l'interface « en un coup d'œil » comparé à l'interface « qui s'étend et se contracte » (76 vs 62 ; $p = 0,002$) sur toute la période d'étude.

Néanmoins, comme il y avait une interaction interface-période significative ($p=0,001$), nous avons dû analyser le score SUS sur chaque période prise séparément (tableau 12). En période 1, les médecins évaluaient l'interface « qui s'étend et se contracte » dans le groupe 1 et l'interface « en un coup d'œil » dans le groupe 2. Dans chacun des groupes, la première interface évaluée était comparée avec « rien », puisque les médecins n'avaient pas encore vu l'autre interface. En période 1, il n'y avait pas de différence significative entre les scores SUS des deux interfaces (72 vs 70, $p=0,732$).

En période 2, les médecins évaluaient l'autre interface, c'est-à-dire l'interface « en un coup d'œil » dans le groupe 1, et l'interface « qui s'étend et se contracte » dans le groupe 2. Dans chaque groupe, l'opinion que le médecin avait sur l'interface à évaluer était conditionnée par l'expérience qu'il avait eue avec la première interface vue en période 1 (les résultats en période 2 peuvent être influencés par l'intervention en période 1 du fait d'un effet « carry-over »). Les médecins du groupe 1 ont perçu la seconde interface (c'est-à-dire l'interface « en un coup d'œil ») plus « utilisable » que la première interface. Les médecins du groupe 2 ont perçu la seconde interface (c'est-à-dire l'interface « qui s'étend et se contracte ») moins « utilisable » que la première interface. En période 2, il y avait une différence significative importante ($p=0,00004$) : le score SUS était de 51 avec l'interface « qui s'étend et se contracte » et 81 avec l'interface « en un coup d'œil ». Selon l'échelle de

Bangor et al.* (137,138), l'utilisabilité perçue était « OK » avec l'interface « qui s'étend et se contracte », et « excellente » avec l'interface « en un coup d'œil » en période 2.

(*Echelle de Bangor et al. (137,138) : score de 0 à 25 : le pire imaginable ; score de 25 à 39 : pauvre ; score de 39 à 52 : OK ; score de 52 à 73 : bon ; score de 73 à 85 : excellent ; score de 85 à 100 : le meilleur imaginable)

3.3.3.3. *La justesse de réponse*

Sur toute la période d'étude, 64,3% des réponses ont été trouvées correctes avec l'interface « qui s'étend et se contracte » versus 68,9% avec l'interface « en un coup d'œil ». Cette différence n'était pas significative ($p=0,179$). Même si l'interaction interface-période n'était pas significative, nous avons quand même analysé le nombre de réponses correctes sur chaque période prise séparément (tableau 12) : aucune différence significative n'a été mise en évidence ($p=0,234$ en période 1, $p=0,551$ en période 2).

Pour l'action « prescription d'examen complémentaires/surveillance », le pourcentage de réponses correctes était significativement plus haut avec l'interface « en un coup d'œil » sur toute la période d'étude (76,5% vs 29,4%, $p=0,0002$). Aucune différence significative n'a été mise en évidence pour les actions « prescription d'antibiotiques » ($p=0,142$), « pas de prescription » ($p=0,571$) et « hospitalisation » ($p=0,484$).

3.3.3.4. *La confiance dans le système*

Sur toute la période d'étude, le pourcentage de réponses pour lesquelles le médecin avait confiance en l'outil, était significativement plus haut avec l'interface « en un coup d'œil » comparé à l'interface « qui s'étend et se contracte » (88,8% vs 80,7% ; $p =0,004$). Même si l'interaction interface-période n'était pas significative, nous avons quand même analysé le pourcentage de réponses pour lesquelles le médecin avait confiance sur chaque période prise séparément (tableau 12) : en période 1, il n'y avait pas de différence significative (85,4% vs 86,5% ; $p =0,812$).

En période 2, les médecins ont vu les deux interfaces. Dans le groupe 1, la seconde interface (c'est-à-dire l'interface « en un coup d'œil ») inspire plus confiance que la première, alors que dans le groupe 2, la seconde interface (c'est-à-dire l'interface « qui

s'étend et se contracte ») inspire moins confiance que la première. Une différence significative importante a été mise en évidence en période 2 (75,7% vs 91,5% ; $p=0,001$).

Pour l'action « prescription d'antibiotiques », le pourcentage de réponses pour lesquelles le médecin avait confiance en l'outil, était significativement plus haut avec l'interface « en un coup d'œil » (88,9% vs 78,6% ; $p=0,007$). Néanmoins, comme il y avait une interaction interface-période significative ($p=0,007$), nous avons dû réaliser une analyse sur chaque période prise séparément. En période 1, il n'y avait pas de différence significative entre les deux interfaces ($p=0,966$). En période 2, le pourcentage de réponses pour lesquelles le médecin avait confiance était significativement plus haut avec l'interface « en un coup d'œil » (93,4% vs 72,9% ; $p=0,0003$), possiblement du fait de l'effet « carry-over ».

Aucune différence significative n'a été mise en évidence pour les actions « pas de prescription » ($p=0,480$), « hospitalisation » ($p=0,061$), et « prescription d'exams complémentaires » ($p=0,101$).

Tableau 12 : Score SUS, Justesse de la réponse, Confiance pour chacune des interfaces : analyse de chaque période prise séparément.

		Interface « qui s'étend et se contracte »	Interface « en un coup d'œil »	Delta (« en un coup d'œil » - « qui s'étend et se contracte »)
SUS	Période 1	72	70	-2 ($p=0.732$)
	Période 2	51	81	+30 ($p=0.00004$)
Justesse	Période 1	62.4%	68.2%	+5.8 ($p=0.234$)
	Période 2	66.3%	69.5%	+3.2 ($p=0.551$)
Confiance	Période 1	85.4%	86.5%	+1.1 ($p=0.812$)
	Période 2	75.7%	91.5%	+15.8 ($p=0.001$)

3.3.3.5. Analyse qualitative

Analyse qualitative de chaque question du SUS prise séparément

L'interface « en un coup d'œil » semble être plus utilisable que l'interface « qui s'étend et se contracte », en termes de fréquence d'utilisation, facilité d'utilisation, d'intégration des fonctions, de rapidité d'apprentissage et de confiance dans le système (figure 28).

Analyse qualitative des commentaires libres

Le rappel des définitions, des facteurs de risque, des scores, et des critères de diagnostic, de sévérité et d'hospitalisation dans l'interface « en un coup d'œil » semble avoir été apprécié par les médecins (tableau 13). Le manque de ces rappels dans l'interface « qui s'étend et se contracte » semble avoir rendu le processus de décision plus ambigu.

La vue globale de toutes les situations cliniques avec l'interface « en un coup d'œil » a été appréciée par les médecins. Le manque de cette vue générale dans l'interface « qui s'étend et se contracte » a limité l'utilité de l'interface : (i) en cas de doute, le médecin devait naviguer manuellement à travers les différentes branches du processus de décision ; (ii) en cas d'erreur, le médecin devait recommencer depuis le début ; (iii) les médecins avaient l'impression que la hiérarchie comportait des erreurs ; (iv) ils avaient le sentiment de faire un trop grand nombre de clics.

« Avant de faire l'évaluation, je pensais que j'aurai préféré l'interface « qui s'étend et se contracte ». Mais après avoir fait l'évaluation, j'ai finalement préféré l'interface « en un coup d'œil » pour plusieurs raisons. D'abord, elle permet d'avoir une meilleure vue d'ensemble, alors qu'avec l'autre interface tu n'es jamais sûr d'avoir pris le bon chemin, ce qui t'oblige à étendre toutes les possibilités... L'autre avantage est que tu peux voir une large quantité d'information en un coup d'œil, et comme c'est bien organisé, c'est utile et utilisable. Et en plus, il y a dix fois moins de clics... ».

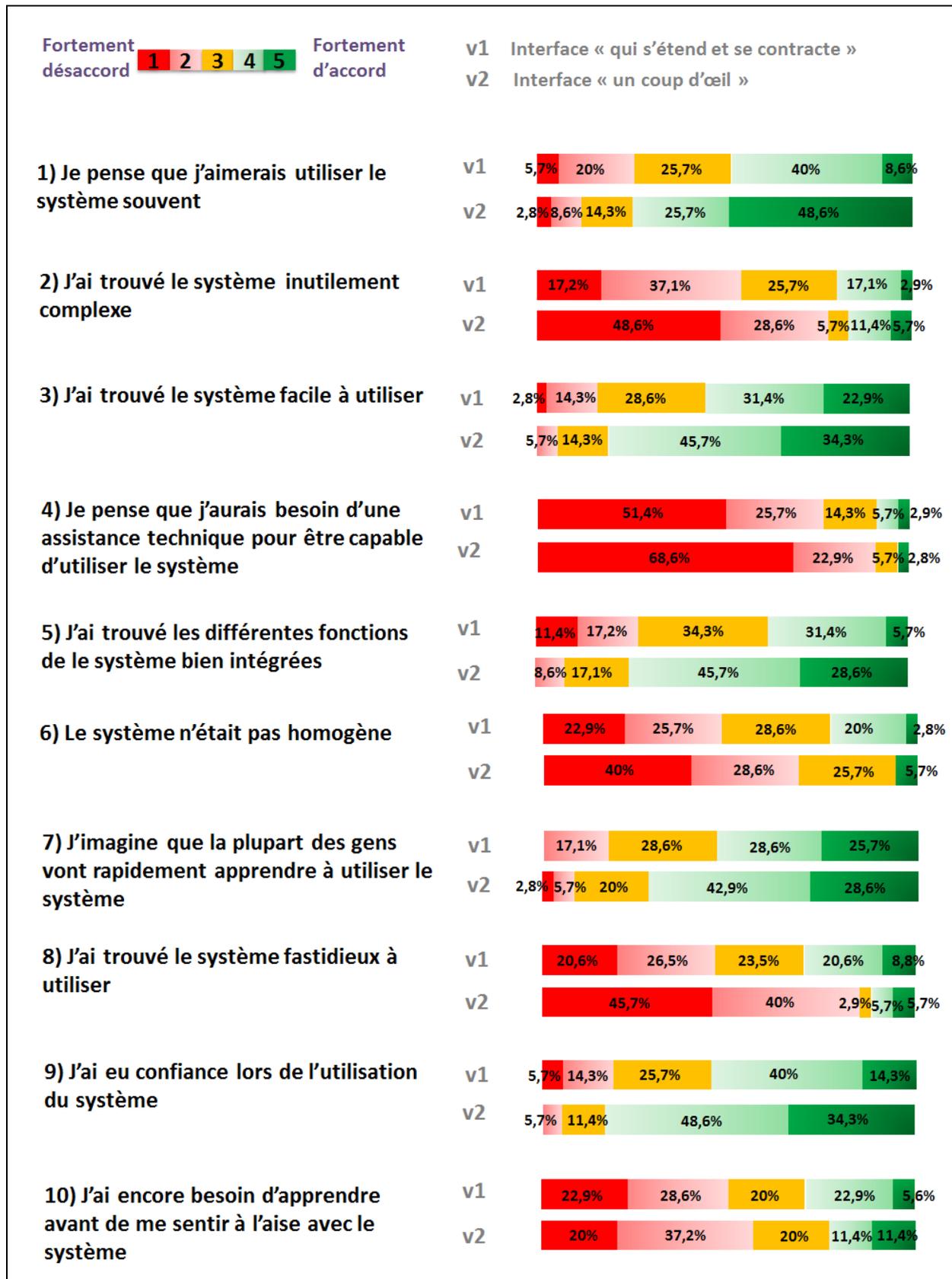


Figure 27 : Analyse qualitative de chaque question du SUS prise séparément.

Tableau 13 : Commentaires libres : extraction des termes utilisés par les médecins.

	Interface « qui s'étend et se contracte » (n)	Interface « en un coup d'œil » (n)
Quantité d'information	<ul style="list-style-type: none"> - Les rappels des définitions, des facteurs de risque, des scores, et des critères diagnostic, de sévérité et d'hospitalisation sont manquants (n=9) 	<ul style="list-style-type: none"> - Les rappels des définitions, des facteurs de risque, des scores, et des critères diagnostic, de sévérité et d'hospitalisation sont aidants (n=8) - La source du GBP est présentée, et c'est important de connaître la source (n=1) - Les noms des bactéries étiologiques sont manquants (n=1) - Surcharge d'information (n=1)
Organisation de l'interface	<ul style="list-style-type: none"> - La zone à droite ne se voit pas assez (n=3) 	<ul style="list-style-type: none"> - Bien organisé, bien structuré (n=3) - Les critères d'hospitalisation devraient être localisés en dessous et à gauche (n=1)
Hiérarchie du processus de décision	<ul style="list-style-type: none"> - Erreurs dans la hiérarchie (n=7) - La vue d'ensemble est manquante (n=1) - En cas de doute, il est nécessaire d'explorer manuellement les différents chemins du processus de décision (n=1) - En cas d'erreur, il est nécessaire de recommencer depuis le début (n=1) 	<ul style="list-style-type: none"> - Vue d'ensemble de toutes les situations cliniques (n=6)
Clics	<ul style="list-style-type: none"> - Beaucoup de clics (n=3) - C'est difficile de cliquer sur la croix (n=2) 	<ul style="list-style-type: none"> - Quelques clics (n=1)
Visuels		<ul style="list-style-type: none"> - Les critères d'hospitalisation ne sont pas clairs (n=2) - Les visuels sont utiles (n=1) - Les couleurs sont utiles (n=1)
Confiance	<ul style="list-style-type: none"> - La confiance est faible (n=2) 	
Description positive	<ul style="list-style-type: none"> - Utile, pratique (n=4) - Plaisant (n=3) - Clair (n=2) - Facile (n=2) - Rapide (n=1) - Intuitive (n=1) 	<ul style="list-style-type: none"> - Facile, simple (n=7) - Plaisant, convivial (n=6) - Utile, pratique (n=4) - Excellent (n=3) - Claire (n=2) - Ergonomique (n=2) - Rapide (n=3) - Intuitive (n=1) - Naturel (n=1) - Facilite l'apprentissage (n=1) - Facilite l'encodage médical (n=1)
Description négative	<ul style="list-style-type: none"> - Pas pratique (n=5) - Pas intuitif (n=4) - Long, ennuyeux, prend du temps (n=3) - Pas très plaisant ou convivial (n=2) - Complicé (n=2) - Pas ergonomique (n=1) - Nécessite de l'aide (consultation du manuel) (n=1) 	<ul style="list-style-type: none"> - Long (n=2) - Pas très pratique (n=1) - Pas très plaisant (n=1) - Nécessite un temps pour s'adapter (n=1) - Inquiétude sur le fait de prescrire plus d'antibiotiques avec l'outil (n=1)

3.3.4. Discussion et conclusion

L'interface conçue selon les principes d'utilisabilité s'est révélée être plus « utilisable », et inspirait plus confiance que l'interface navigation guidée. La justesse des réponses a été similaire pour les deux interfaces. A notre connaissance, c'est la première étude publiée qui a prouvé l'intérêt de prendre en considération les principes d'utilisabilité dans la conception des interfaces pour les SAD en santé.

Cette étude a plusieurs points forts.

Le premier est le schéma d'étude : étude crossover où le sujet est pris comme son propre témoin, randomisation des médecins, des cas cliniques et de l'ordre des cas cliniques pour chaque médecin. Nous avons utilisé deux jeux de cas cliniques pour chaque interface afin d'empêcher l'effet mémoire (les médecins pouvaient se rappeler des réponses aux cas cliniques lorsqu'ils évaluaient la seconde interface). Nous avons utilisé un schéma d'étude crossover pour pouvoir mettre en évidence une différence significative sur le critère utilisabilité (nous faisons l'hypothèse que l'effet « carry-over » (139) présent en période 2 a permis de détecter cette différence).

Nous avons obtenu des résultats qui sont largement en faveur de l'interface « en un coup d'œil ». L'utilisabilité perçue était « OK » pour l'interface « qui s'étend et se contracte », et « excellente » pour l'interface « en un coup d'œil ». L'analyse qualitative des commentaires libres a identifié quatre principes d'utilisabilité qui semblent avoir été appréciés par les médecins :

- « Simplicité » : les médecins ont semblé trouver l'interface « en un coup d'œil » facile à utiliser.
- « Utilisation efficace du langage » : explications, justifications et rappels des décisions de variables ont été appréciés des médecins, parce qu'ils rendaient le processus de décision non ambigu. Cela s'est confirmé lors de l'analyse en sous-groupes par type d'action : pour l'action « prescription d'examen complémentaires », la justesse de réponse a été meilleure avec l'interface « en un coup d'œil » (76,5% vs 29,4%), probablement grâce aux explications et rappels fournis, qui étaient absents dans l'interface « qui s'étend et se contracte ».
- « Présentation efficace de l'information » : la vue globale du processus de décision dans l'interface « en un coup d'œil » a aussi été appréciée. Elle a permis d'augmenter la

confiance du médecin en lui donnant la possibilité de visualiser l'ensemble des alternatives avant de prendre la décision.

- « Interactions efficaces » : la diminution du nombre de clics avec l'interface « en un coup d'œil » a semblé être importante pour les médecins.

Il serait intéressant de confirmer les résultats obtenus avec l'analyse qualitative des commentaires libres, par une évaluation comportant des méthodes qualitatives telles que les observations, les entretiens, les focus group, etc. (140,141) **La confiance dans le système a été trouvée égale à 88,8% avec l'interface « en un coup d'œil » versus 80,7% avec l'interface « qui s'étend et se contracte ».** Nous pouvons supposer que cette différence significative est bien due au design de l'interface et non au contenu scientifique, car nous avons contrôlé ce biais en comparant deux interfaces présentant un contenu scientifique extrait des mêmes guides de bonnes pratiques cliniques. Ceci confirme l'effet potentiel du design de l'interface sur le degré de confiance ressenti par les médecins (142). La confiance dans le système est importante à considérer dans la conception d'un SAD, car c'est un facteur qui peut favoriser l'utilisation d'un système (143).

Nous avons proposé une interface « en un coup d'œil » dérivée d'un modèle général représentant le processus de décision utilisé dans le traitement des pathologies infectieuses (116). Ainsi, toutes les recommandations de bonnes pratiques cliniques ont été automatiquement implémentées à partir d'une base de connaissances commune construite à partir d'un modèle général. Le coût du design pour chaque situation clinique est ainsi considérablement réduit. Concevoir des interfaces selon le modèle général d'un processus de décision permet de réduire le coût du design, et ce facteur devrait être systématiquement considéré dans le développement et la maintenance des SAD (144,145).

Cette étude a plusieurs limites.

Les évaluateurs étaient tous de jeunes médecins généralistes, du fait du mode de recrutement : volontariat, contact par e-mail, associations de médecins. Néanmoins, ces jeunes médecins étaient tous de potentiels futurs utilisateurs du système.

La formation avant l'évaluation a été limitée à la lecture d'un court manuel, à la réalisation de deux cas cliniques tests et à la possibilité de contacter le premier auteur si nécessaire. Ceci peut expliquer pourquoi certains nouveaux concepts utilisés dans l'interface « en un coup d'œil » étaient ambigus pour certains médecins. Par exemple, le langage VCM

utilisé pour afficher les critères d'hospitalisation, aurait été mieux compris après une courte formation au langage (95,96,146).

Nous n'avons pas mesuré trois des cinq métriques décrits par la HIMSS pour évaluer l'utilisabilité (90). La première de ces métriques est « l'efficacité », correspondant à la rapidité avec laquelle un utilisateur est capable d'exécuter une tâche, généralement mesurée par le temps pris pour exécuter la tâche (90,103). Le schéma d'étude a rendu impossible la mesure de ce paramètre, puisque comme l'évaluation se déroulait à distance, nous ne pouvions pas contrôler le déroulement de l'évaluation (ex : interruption téléphonique, évaluations avec plusieurs pauses). L'analyse des données suggère que quelques médecins ont interrompu l'évaluation car ils se sont identifiés plus d'une fois sur le site. Cependant, « l'efficacité » peut aussi être mesurée par le « nombre de clics » ou le « nombre de boutons de retour » (90). L'analyse qualitative des commentaires libres a montré que beaucoup trop de clics étaient nécessaires pour l'interface « qui s'étend et se contracte ». Ce commentaire n'a jamais été fait pour l'interface « en un coup d'œil » qui permettait de naviguer sur l'ensemble du processus de décision en un à trois clics maximum, correspondant à un temps d'interaction estimé selon nous entre 30 secondes et 2 minutes (116). Le temps court d'interaction est un facteur important dans la recherche d'information (133), et dans l'adoption d'un SAD (147). **« La facilité d'apprentissage » est une autre métrique que nous n'avons pas évaluée,** et qui peut être mesurée en déterminant le temps passé à utiliser un manuel, une fonction d'aide ou le temps d'exécution d'une tâche (90). Nos résultats suggèrent que l'interface « en un coup d'œil » a été plus facile à apprendre que l'interface « qui s'étend et se contracte ». L'analyse des questions SUS prises séparément a révélé que 91,5% des médecins estimaient qu'ils n'avaient pas besoin de manuel technique pour utiliser l'interface « en un coup d'œil » comparé à 77,1% avec l'interface « qui s'étend et se contracte ». De plus, l'analyse des commentaires libres a révélé qu'un des médecins avait dû lire le manuel durant l'évaluation de l'interface « qui s'étend et se contracte ». **« La charge cognitive » est l'autre métrique que nous n'avons pas évaluée.** Néanmoins, les caractéristiques de l'interface « en un coup d'œil » peuvent diminuer la charge cognitive, puisque l'organisation de l'interface est similaire et constante pour toutes les situations cliniques.

L'utilisabilité s'est focalisée sur la perception de l'utilisateur et la capacité à interagir correctement avec le système (140). Nous avons évalué les trois composants « système – utilisateur – tâche » de l'interaction à l'aide de cas cliniques fictifs, mais nous n'avons pas

pris en compte le facteur « environnement » (140). Ce facteur devra être pris en compte pour confirmer nos résultats en pratique clinique courante, puisque l'implémentation en conditions réelles pourrait mener à des résultats différents de ceux obtenus dans des conditions de laboratoire (140).

Enfin, la possibilité de généraliser ces résultats dans d'autres domaines que l'antibiothérapie devrait être évaluée.

En conclusion, l'interface conçue selon les principes d'utilisabilité a été trouvée plus « utilisable » et inspirait plus confiance aux médecins que l'interface « qui s'étend et se contracte ». Ainsi prendre en compte les principes d'utilisabilité, notamment « présentation efficace de l'information », « consistance », « interaction efficace », « utilisation efficace du langage » et « minimisation de la charge cognitive », dans la construction de l'interface a semblé améliorer l'utilisabilité perçue et la confiance dans le système.

4. DISCUSSION/CONCLUSION

Nous avons souhaité concevoir un SAD d'aide à la prescription des antibiotiques en médecine générale, qui : (i) couvre l'ensemble des situations cliniques pouvant être rencontrées en soins primaires et justifiant la prescription d'antibiotiques ; (ii) puisse être mis à jour facilement de manière automatique ou semi-automatique ; (iii) puisse être adopté par les médecins en pratique clinique courante.

Afin de concevoir un tel système, nous avons recherché des solutions à plusieurs problèmes méthodologiques.

Pour résoudre le problème de la couverture des situations cliniques, et de la mise à jour automatique des connaissances, nous avons proposé une méthode qui consiste à implémenter le raisonnement médical profond qu'utilisent les experts qui écrivent les GBPs pour établir des recommandations. L'implémentation de ce raisonnement permet de générer automatiquement des recommandations sans l'intervention des experts, et ce pour n'importe quelle situation clinique. De plus, comme il s'appuie sur les propriétés des antibiotiques, on peut espérer que certaines de ces propriétés puissent être mises à jour automatiquement.

Pour favoriser l'adoption du SAD, nous avons proposé une interface « en un coup d'œil » construite selon le processus de décision en antibiothérapie empirique et selon les principes d'utilisabilité. Nous avons fait évaluer cette interface par un panel de médecins généralistes dans un essai en *crossover* où le sujet est pris comme son propre témoin. L'évaluation a montré que l'interface était appréciée par les médecins, que l'utilisabilité perçue était excellente, et que son contenu inspirait confiance aux médecins.

4.1. PARTIR DES GBPs POUR S'EN AFFRANCHIR

Toute notre démarche a reposé sur l'analyse des GBPs : nous avons extrait et identifié le processus de décision en antibiothérapie empirique, ainsi que le raisonnement médical profond utilisé par les experts pour établir des recommandations. Notre méthode d'analyse des GBPs a été exclusivement manuelle. Certains auteurs ont utilisé des techniques de traitement automatique de la langue pour modéliser les processus dans les recommandations (148). Par exemple, Kaiser *et al* (148) ont modélisé la prescription dans des GBPs en oto-rhino-laryngologie grâce à la création de patrons linguistiques. Néanmoins

ces méthodes automatiques semblent difficilement applicables aux GBPs français dont la structure est très variable d'une recommandation à une autre.

A partir de cette analyse des GBPs, nous avons créé un système capable de reproduire le raisonnement utilisé par les experts qui écrivent les GBPs, afin de pouvoir générer automatiquement des recommandations, sans l'intervention des experts.

Notre approche pourrait être assimilée à celle utilisée dans les années 1960 pour concevoir les premiers systèmes experts tels que MYCIN (117). Néanmoins, notre approche est différente sur plusieurs points : (i) nous implémentons le raisonnement médical profond d'un ensemble d'experts, s'appuyant sur la médecine fondée sur les preuves, et non la connaissance d'un seul expert ; (ii) nous avons cherché à identifier un raisonnement générique applicable à toutes les situations cliniques, et non un raisonnement spécifique à un type d'infection donnée ; (iii) nous avons conçu une interface « générique », c'est-à-dire applicable à toutes les situations cliniques, et qui permet d'avoir une vue d'ensemble du processus de décision « en un coup d'œil ».

Notre approche nous semble bien adaptée au domaine de l'antibiothérapie empirique car (i) le raisonnement médical profond s'appuie sur les propriétés des médicaments ; (ii) il s'agit de pathologies aiguës ; (iii) les recommandations générées sont des monothérapies. L'extrapolation de cette approche à d'autres domaines médicaux nécessitera probablement d'associer d'autres modalités de raisonnement. Par exemple, le raisonnement temporel dans la prise en charge des pathologies chroniques telles que les maladies cardiovasculaires (HTA, Insuffisance cardiaque, etc.), le diabète, etc. De même, la réponse au traitement déjà administré, les interactions médicamenteuses devront aussi être pris en compte (ex : en oncologie). L'extrapolation de notre approche à d'autres domaines médicaux nécessite donc d'être étudiée et évaluée.

4.2. UNE INTERFACE PORTEUSE DE CONNAISSANCES

Notre démarche a consisté à concevoir une interface porteuse de connaissances qui permet :

- D'afficher l'ensemble du processus de décision sur une seule page (interface « en un coup d'œil »), ce qui permet au médecin d'avoir une vue d'ensemble de toutes les prises en charge possibles pour son patient.

- D'afficher ensuite sur autre page, les propriétés des antibiotiques utilisées dans le raisonnement médical profond, sous forme d'un tableau à double entrée présentant l'ensemble des antibiotiques disponibles et les valeurs de leurs propriétés (à l'image d'un antibiogramme). Les antibiotiques recommandés sont tagués. Des filtres sont présents afin de pouvoir trier les antibiotiques selon les propriétés. Par exemple, si un patient tolère mal l'antibiotique recommandé, le médecin peut filtrer les antibiotiques de manière à déterminer lequel sera le plus adapté pour son patient en fonction des propriétés des antibiotiques.

Afficher l'ensemble des connaissances nécessaires au médecin pour décider de la prise en charge a plusieurs avantages.

D'abord, cela lui permet d'extrapoler les recommandations à toutes les situations cliniques. Contrairement aux SAD actuels, nous proposons une interface qui permet au médecin d'adapter les recommandations à ses propres patients : (i) en page 1, il peut sélectionner un profil patient selon les contre-indications usuelles (femme enceinte, enfant, insuffisance rénale) ; (ii) en page 2, il peut choisir la situation clinique qui se rapproche le plus de son patient grâce à la visualisation de l'ensemble du processus de décision ; (iii) en page 3, il peut filtrer les antibiotiques en fonction des spécificités de son patient. Proposer un système qui permette aux médecins d'adapter les recommandations à ses propres patients est un critère de succès d'adoption des recommandations (129).

Ensuite, cela permet de préserver l'autonomie du médecin. Contrairement aux SAD actuels, nous n'affichons pas uniquement les antibiotiques à recommander. Nous avons fait le choix d'afficher la liste des antibiotiques disponibles, ordonnés selon le niveau de la recommandation (rang 1, rang 2, non recommandés), ce qui laisse le choix au médecin de suivre ou non la recommandation. Proposer un système qui préserve l'autonomie du médecin est un critère de succès d'adoption du SAD (149).

Cela permet aussi de renforcer la confiance du médecin en la recommandation. Comme tous les éléments de justification sont présentés au médecin, ce dernier peut facilement comprendre les raisons pour lesquelles un antibiotique est recommandé. Ceci permet de renforcer sa confiance et d'augmenter son adhérence en la recommandation. La confiance est un élément important pour favoriser l'adoption des SAD par les médecins (143).

Enfin cela permet au médecin de développer son analyse critique. En médecine générale, beaucoup de SAD présentent aux médecins des associations « situations cliniques / actions ». Les médecins développent alors des automatismes basés sur ces associations. Ce qui peut poser problème lorsque les connaissances médicales évoluent. Présenter les justifications des recommandations devrait aider les médecins à assimiler le raisonnement médical sous-jacent, et ainsi développer leur analyse critique (125). Ils pourraient alors ajuster aux mêmes les recommandations à l'évolution des connaissances et aux spécificités de leurs patients.

4.3. MISE A JOUR AUTOMATISEE DES CONNAISSANCES

Notre démarche a consisté à implémenter le raisonnement médical profond utilisé en antibiothérapie empirique. Les SAD actuels en médecine générale, implémentent le raisonnement superficiel, c'est-à-dire l'association « conditions patient/actions », ce qui rend leur mise à jour dépendante de la révision du GBP par les autorités de santé.

En implémentant le raisonnement profond, nous utilisons les propriétés des antibiotiques. La plupart de ces propriétés pourraient être mise à jour de manière automatique :

- Les propriétés « commercialisation », « contre-indication », « caractéristiques du protocole » et « spectre d'activité » pourraient être extraites d'une base de données médicamenteuse.
- Les propriétés « niveau d'efficacité » et « efficacité clinique » pourraient être extraites des résultats d'essais randomisés indexés dans une base de données documentaire telle que Medline. Par exemple, l'application web KART (150,151) pourrait être utilisée pour mettre à jour ces propriétés (*cf description section 4.4.2*). Actuellement, KART recherche les essais pertinents sur la base du triplet {maladie, bactérie, antibiotique}. La recherche pourrait être affinée et améliorée en utilisant d'autres paramètres tels que le profil patient et le type d'efficacité (clinique ou microbiologique).
- La propriété « activité supposée » correspondant aux fréquences de résistance acquise des bactéries, pourrait être récupérée d'un observatoire de résistance, tel que l'ONERBA.

- La propriété « effets indésirables » pourrait être récupérée à partir des données d'un centre de pharmacovigilance.

L'une des perspectives serait donc de relier la base de connaissances d'Antibiocarte® avec ces différentes ressources, afin de permettre une mise à jour quasi instantanée des connaissances.

4.4. PERSPECTIVES

4.4.1. Intégration dans le dossier patient

L'une des perspectives est de connecter Antibiocarte® au dossier patient. Ceci pourrait améliorer le workflow, et ainsi augmenter l'adoption du système par les médecins (147).

L'intégration d'Antibiocarte® dans le dossier patient peut poser certains problèmes :

- Il est nécessaire que les informations dont le SAD a besoin pour générer des recommandations soient renseignées et codées par les médecins dans le dossier patient (152). Cela peut constituer un obstacle car (i) les médecins ne codent pas toutes les informations dans le dossier patient, et préfèrent utiliser le texte libre et le langage naturel ; (ii) il n'est actuellement pas possible de coder certains critères d'orientation étiologique ou thérapeutique décrits à la *section 3.2.3.1*.
- Les SAD intégrés dans le dossier patient proposent bien souvent une prise en charge en fonction des données renseignées par le médecin. Le fait de proposer une solution « clef en main » aux médecins diminue leur autonomie et peut constituer un obstacle au suivi des recommandations (149).

Compte tenu de ces obstacles, l'intégration d'Antibiocarte® dans le dossier patient pourrait se faire de la manière suivante :

- Les informations concernant les contre-indications et les pathologies pourraient être codées et récupérées dans le dossier patient, et utilisées dans le SAD.
- Ces informations seraient utilisées dans le SAD de manière à ce que les médecins accèdent directement à la page 2, sans passer par la page 1. En page 2, ils visualiseraient l'ensemble du processus de décision en un coup d'œil, et choisirait la situation correspondant le mieux à leur patient, ce qui préserverait leur autonomie.

Puis, ils accéderaient à la page 3. La liste d'antibiotiques affichée sur cette page serait directement adaptée aux conditions patient extraites du dossier patient.

4.4.2. Aide à l'élaboration des GBPs

De nombreux outils (153,154) ont été conçus pour aider au développement et à la mise à jour des GBP. La plupart d'entre eux aident les experts à structurer et formaliser les GBP afin de faciliter leur implémentation et leur dissémination. Très peu d'entre eux (150,151) cherchent à aider les experts à élaborer des recommandations en leur présentant les connaissances dont ils ont besoin pour les produire (exemple : résultats d'essais thérapeutiques).

Dans le domaine de l'antibiothérapie, l'outil Kart (150,151) a été développé pour aider les experts à élaborer des recommandations. Il extrait automatiquement à partir des bases de données de la littérature, les résultats des essais cliniques évaluant l'efficacité d'un antibiotique pour une pathologie. Pour chaque pathologie, l'outil propose aux experts :

- Une liste d'antibiotiques ordonnée selon les résultats des essais, le coût, les fréquences de résistance acquise et les effets indésirables.
- Une visualisation graphique des résultats des essais cliniques retrouvés sur l'efficacité de l'antibiotique.

Présenter les résultats des essais cliniques sur l'efficacité des antibiotiques aux experts pour qu'ils élaborent des recommandations est utile mais insuffisant, puisque cela ne constitue qu'une seule des douze propriétés d'antibiotiques nécessaires pour élaborer des recommandations (*cf section 3.1.3.1*).

Nous proposons d'afficher l'ensemble des antibiotiques et leurs propriétés sous forme d'un tableau à double entrée, avec possibilité de filtres. Ce tableau à double entrée pourrait être mis à jour automatiquement, et présenté aux experts lorsqu'ils élaborent les recommandations. Le fait de montrer aux experts l'ensemble des propriétés des antibiotiques mises à jour pourrait les aider à établir des recommandations plus facilement et plus rapidement. De plus, les fonctions de tris et de filtres pourraient les aider à établir une hiérarchie des antibiotiques à recommander.

4.4.3. Aide à la formation médicale initiale et/ou continue

Afin d'assurer des soins de qualité, les médecins doivent mettre à jour régulièrement leurs connaissances. Néanmoins la connaissance médicale est étendue et évolue très rapidement, et les médecins disposent de peu de temps pour se former.

Antibiocarte® pourrait être utilisé dans le cadre d'une formation médicale continue dispensée sous la forme de simulations de scénarios cliniques. Les médecins s'aideraient du système pour déterminer la meilleure prise en charge pour un scénario donné. Ceci aurait plusieurs intérêts :

- Les médecins pourraient se former par la pratique et de manière ludique, ce qui aurait probablement un plus grand impact que des cours théoriques (155).
- Les médecins seraient formés à la démarche générale en antibiothérapie empirique, ce qui développerait leur analyse critique.
- Les médecins se familiariseraient au système, et pourraient alors continuer à l'utiliser plus facilement dans leur pratique clinique courante. Ils se formeraient ainsi en continu au-delà de la formation, pendant leur exercice professionnel.

4.5. CONCLUSION

Cette étude réalisée dans le domaine spécifique de l'antibiothérapie empirique, nous a conduits à développer une approche originale qui consiste à analyser les GBPs afin (i) d'en extraire le raisonnement médical utilisé par les experts pour recommander un antibiotique ; (ii) de concevoir une interface porteuse de connaissances inspirée des principes d'utilisabilité et du processus de décision en antibiothérapie empirique. Cette approche pourrait permettre de générer des recommandations pour des situations cliniques non traitées dans les GBPs, de les mettre à jour automatiquement, et de proposer une interface porteuse de connaissances appréciée par les cliniciens. Notre domaine d'application a été celui des pathologies infectieuses aiguës. Il sera particulièrement intéressant de déterminer si ce type d'approche peut être mise en œuvre pour des pathologies chroniques, qui ont la particularité d'évoluer au cours du temps, et de nécessiter une prise en charge en rapport avec le degré d'évolution de la maladie.

BIBLIOGRAPHIE

1. Davey PG, Marwick C. Appropriate vs. inappropriate antimicrobial therapy. *Clin Microbiol Infect.*, 2008;14 Suppl 3: 15-21.
2. Harbarth S, Samore MH. Antimicrobial resistance determinants and future control. *Emerg Infect Dis.*, 2005;11(6): 794-801.
3. Tsopra R, Jais J-P, Venot A, Duclos C. Comparison of two kinds of interface, based on guided navigation or usability principles, for improving the adoption of computerized decision support systems: application to the prescription of antibiotics. *J Am Med Inform Assoc.*, 2014;21(e1): e107-116.
4. Wood F, Simpson S, Butler CC. Socially responsible antibiotic choices in primary care: a qualitative study of GPs' decisions to prescribe broad-spectrum and fluoroquinolone antibiotics. *Fam Pract.*, 2007;24(5): 427-434.
5. Haute Autorité de Santé. <http://www.has-sante.fr> (consulté le 21/08/2014)
6. Cabana MD, Rand CS, Powe NR, Wu AW, Wilson MH, Abboud PA, et al. Why don't physicians follow clinical practice guidelines? A framework for improvement. *J Am Med Assoc.*, 1999;282(15): 1458-1465.
7. Lugtenberg M, Zegers-van Schaick JM, Westert GP, Burgers JS. Why don't physicians adhere to guideline recommendations in practice? An analysis of barriers among Dutch general practitioners. *Implement Sci IS.*, 2009;4:54.
8. Sintchenko V, Coiera E, Gilbert GL. Decision support systems for antibiotic prescribing. *Curr Opin Infect Dis.*, 2008;21(6): 573-579.
9. Linder JA, Schnipper JL, Volk LA, Tsurikova R, Palchuk MB, Olsha-Yehiav M, et al. Clinical Decision Support to Improve Antibiotic Prescribing for Acute Respiratory Infections: Results of a Pilot Study. *AMIA Annu Symp Proc.*, 2007: 468-472.
10. Leibovici L, Paul M, Nielsen AD, Tacconelli E, Andreassen S. The TREAT project: decision support and prediction using causal probabilistic networks. *Int J Antimicrob Agents.*, 2007;30 Suppl 1: S93-102.
11. Rubin MA, Bateman K, Donnelly S, Stoddard GJ, Stevenson K, Gardner RM, et al. Use of a personal digital assistant for managing antibiotic prescribing for outpatient respiratory tract infections in rural communities. *J Am Med Inform Assoc.*, 2006;13(6): 627-634.

12. Finch RG, Low DE. A critical assessment of published guidelines and other decision-support systems for the antibiotic treatment of community-acquired respiratory tract infections. *Clin Microbiol Infect.*, 2002;8 Suppl 2: 69-91.
13. Duclos C, Cartolano GL, Ghez M, Venot A. Structured representation of the pharmacodynamics section of the summary of product characteristics for antibiotics: application for automated extraction and visualization of their antimicrobial activity spectra. *J Am Med Inform Assoc.*, 2004;11(4): 285-293.
14. Verhoeven F, Steehouder MF, Hendrix RMG, Van Gemert-Pijnen JEW. From expert-driven to user-oriented communication of infection control guidelines. *Int J Hum-Comput Stud.*, 2010;68(6): 328-343.
15. Grayson ML, Melvani S, Kirsa SW, Cheung S, Garrett MK, Korman AM, et al. Impact of an electronic antibiotic advice and approval system on antibiotic prescribing in an Australian teaching hospital. *Med J Aust.*, 2004;180(9) : 455-458.
16. Linder JA, Schnipper JL, Tsurikova R, Yu T, Volk LA, Melnikas AJ, et al. Documentation-based clinical decision support to improve antibiotic prescribing for acute respiratory infections in primary care: a cluster randomised controlled trial. *Inform Prim Care.*, 2009;17(4): 231-240.
17. Steinman MA, Landefeld C, Gonzales R. Predictors of broad-spectrum antibiotic prescribing for acute respiratory tract infections in adult primary care. *JAMA.*, 2003;289(6): 719-725.
18. Gonzales R, Steiner JF, Sande MA. Antibiotic prescribing for adults with colds, upper respiratory tract infections, and bronchitis by ambulatory care physicians. *JAMA.*, 1997;278(11): 901-904.
19. Dosh SA, Hickner JM, Mainous AG, Ebell MH. Predictors of antibiotic prescribing for nonspecific upper respiratory infections, acute bronchitis, and acute sinusitis. An UPRNet study. Upper Peninsula Research Network. *J Fam Pract.*, 2000;49(5): 407-414.
20. Gonzales R, Barrett PH, Steiner JF. The relation between purulent manifestations and antibiotic treatment of upper respiratory tract infections. *J Gen Intern Med.*, 1999;14(3): 151-156.
21. Gonzales R, Barrett PH, Crane LA, Steiner JF. Factors Associated with Antibiotic Use for Acute Bronchitis. *J Gen Intern Med.*, 1998;13(8): 541-548.
22. Linder JA, Singer DE, Stafford RS. Association between antibiotic prescribing and visit duration in adults with upper respiratory tract infections. *Clin Ther.*, 2003;25(9): 2419-2430.

23. Stone S, Gonzales R, Maselli J, Lowenstein SR. Antibiotic prescribing for patients with colds, upper respiratory tract infections, and bronchitis: A national study of hospital-based emergency departments. *Ann Emerg Med.*, 2000;36(4): 320-327.
24. Cadieux G, Tamblyn R, Dauphinee D, Libman M. Predictors of inappropriate antibiotic prescribing among primary care physicians. *CMAJ.*, 2007;177(8): 877-883.
25. Avorn J, Solomon DH. Cultural and economic factors that (mis)shape antibiotic use: the nonpharmacologic basis of therapeutics. *Ann Intern Med.*, 2000;133(2): 128-135.
26. McGlynn EA, Asch SM, Adams J, Keesey J, Hicks J, DeCristofaro A, et al. The Quality of Health Care Delivered to Adults in the United States. *N Engl J Med.*, 2003;348(26): 2635-2645.
27. Farquhar CM, Kofa EW, Slutsky JR. Clinicians' attitudes to clinical practice guidelines: a systematic review. *Med J Aust.*, 2002;177(9): 502-506.
28. Carlsen B, Glenton C, Pope C. Thou shalt versus thou shalt not: a meta-synthesis of GPs' attitudes to clinical practice guidelines. *Br J Gen Pract.*, 2007;57(545): 971-978.
29. Ongenaë F, Backere FD, Steurbaut K, Colpaert K, Kerckhove W, Decruyenaere J, et al. Towards computerizing intensive care sedation guidelines: design of a rule-based architecture for automated execution of clinical guidelines. *BMC Med Inform Decis Mak.*, 2010;10(1): 3.
30. Informatique Médicale, e-Santé – Fondements et applications. <http://www.springer.com/public+health/book/978-2-8178-0337-1>
31. Long WJ. Medical informatics: reasoning methods. *Artif Intell Med.*, 2001;23(1): 71-87.
32. Shortliffe EH, Davis R, Axline SG, Buchanan BG, Green CC, Cohen SN. Computer-based consultations in clinical therapeutics: explanation and rule acquisition capabilities of the MYCIN system. *Comput Biomed Res Int J.*, 1975;8(4): 303-320.
33. Shortliffe E. A rule-based approach to the generation of advice and explanations in clinical medicine. *Proc Workshop Comput Linguist Med Uppsals Swed.*, 1977.
34. Musen MA. Stanford Medical Informatics: uncommon research, common goals. *MD Comput Comput Med Pract.*, 1999;16(1): 47-48, 50.
35. Thursky KA, Buising KL, Bak N, Macgregor L, Street AC, Macintyre CR, et al. Reduction of broad-spectrum antibiotic use with computerized decision support in an intensive care unit. *Int J Qual Health Care.*, 2006;18(3): 224-231.

36. Thursky KA, Mahemoff M. User-centered design techniques for a computerised antibiotic decision support system in an intensive care unit. *Int J Med Inf.*, 2007;76(10): 760-768.
37. Gierl L, Steffen D, Ihracky D, Schmidt R. Methods, architecture, evaluation and usability of a case-based antibiotics advisor. *Comput Methods Programs Biomed.*, 2003;72(2): 139-154.
38. Heindl B, Schmidt R, Schmid G, Haller M, Pfaller P, Gierl L, et al. A case-based consiliarius for therapy recommendation (ICONS): computer-based advice for calculated antibiotic therapy in intensive care medicine. *Comput Methods Programs Biomed.*, 1997;52(2): 117-127.
39. Schmidt R, Montani S, Bellazzi R, Portinale L, Gierl L. Cased-Based Reasoning for medical knowledge-based systems. *Int J Med Inf.*, 2001;64(2-3): 355-367.
40. Rossille D, Laurent J-F, Burgun A. Modelling a decision-support system for oncology using rule-based and case-based reasoning methodologies. *Int J Med Inf.*, 2005;74(2-4): 299-306.
41. Rossille D, Laurent J-F, Burgun A. Modelling of a case-based retrieval system for oncology. *Stud Health Technol Inform.*, 2003;95 :565-570.
42. Schmidt R, Gierl L. Case-based reasoning for antibiotics therapy advice: an investigation of retrieval algorithms and prototypes. *Artif Intell Med.*, 2001;23(2): 171-186.
43. Zadeh LA. Fuzzy sets. *Inf Control.*, 1965;8(3): 338-353.
44. Papageorgiou EI. Fuzzy cognitive map software tool for treatment management of uncomplicated urinary tract infection. *Comput Methods Programs Biomed.*, 2012;105(3): 233-245.
45. D' Acierno A, Esposito M, De Pietro G. An extensible six-step methodology to automatically generate fuzzy DSSs for diagnostic applications. *BMC Bioinformatics.*, 2013;14 Suppl 1: S4.
46. Torres A, Nieto JJ. Fuzzy Logic in Medicine and Bioinformatics. *J Biomed Biotechnol.*, 2006: 1-7.
47. Papageorgiou EI, Roo JD, Huszka C, Colaert D. Formalization of treatment guidelines using Fuzzy Cognitive Maps and semantic web tools. *J Biomed Inform.*, 2012;45(1): 45-60.
48. DebugIT project. <http://www.debugit.eu/> (consulté le 21/08/2014).

49. Lucas PJF, van der Gaag LC, Abu-Hanna A. Bayesian networks in biomedicine and health-care. *Artif Intell Med.*, 2004;30(3): 201-214.
50. Bromley J. Guidelines for the use of Bayesian networks as a participatory tool for Water Resource Management . Centre for Ecology and Hydrology. 2005.
51. Düspohl M, Frank S, Döll P. A Review of Bayesian Networks as a Participatory Modeling Approach in Support of Sustainable Environmental Management. *J Sustain Dev.*, 2012;5(12).
52. Leibovici L, Paul M, Andreassen S. Balancing the benefits and costs of antibiotic drugs: the TREAT model. *Clin Microbiol Infect.*, 2010;16(12): 1736-1739.
53. Paul M, Andreassen S, Tacconelli E, Nielsen AD, Almasreh N, Frank U, et al. Improving empirical antibiotic treatment using TREAT, a computerized decision support system: cluster randomized trial. *J Antimicrob Chemother.*, 2006;58(6): 1238-1245.
54. Amato F, Lopez A, Pena-Mendez EM, Vanhara P, Hampl A. Artificial neural networks in medical diagnosis. *J Appl Biomed.*, 2013;11: 47-58.
55. Tu JV. Advantages and disadvantages of using artificial neural networks versus logistic regression for predicting medical outcomes. *J Clin Epidemiol.*, 1996;49(11): 1225-1231.
56. Padhi R, Bhardhwaj JR. An adaptive drug delivery design using neural networks for effective treatment of infectious diseases: a simulation study. *Comput Methods Programs Biomed.*, 2009;94(3): 207-222.
57. Pestotnik SL, Classen DC, Evans RS, Burke JP. Implementing antibiotic practice guidelines through computer-assisted decision support: clinical and financial outcomes. *Ann Intern Med.*, 1996;124(10): 884-890.
58. Evans RS, Classen DC, Pestotnik SL, Lundsgaarde HP, Burke JP. Improving empiric antibiotic selection using computer decision support. *Arch Intern Med.*, 1994;154(8): 878-884.
59. Evans RS, Pestotnik SL, Classen DC, Clemmer TP, Weaver LK, Orme JF, et al. A Computer-Assisted Management Program for Antibiotics and Other Antiinfective Agents. *N Engl J Med.*, 1998;338(4): 232-238.
60. Warner H Jr, Blue SR, Sorenson D, Reimer L, Li L, Nelson M, et al. New computer-based tools for empiric antibiotic decision support. *Proc AMIA Annu Fall Symp.* 1997; 238-242.

61. Kofoed K, Zalounina A, Andersen O, Lisby G, Paul M, Leibovici L, et al. Performance of the TREAT decision support system in an environment with a low prevalence of resistant pathogens. *J Antimicrob Chemother.*, 2009;63(2): 400-404.
62. Yu VL, Fagan LM, Wraith SM, et al. Antimicrobial selection by a computer: A blinded evaluation by infectious diseases experts. *JAMA.*, 1979;242(12): 1279-1282.
63. Yong MK, Buising KL, Cheng AC, Thursky KA. Improved susceptibility of Gram-negative bacteria in an intensive care unit following implementation of a computerized antibiotic decision support system. *J Antimicrob Chemother.*, 2010;65(5): 1062-1069.
64. De Clercq PA, Blom JA, Korsten HHM, Hasman A. Approaches for creating computer-interpretable guidelines that facilitate decision support. *Artif Intell Med.*, 2004;31(1): 1-27.
65. Samwald M, Fehre K, de Bruin J, Adlassnig K-P. The Arden Syntax standard for clinical decision support: experiences and directions. *J Biomed Inform.* 2012;45(4): 711-718.
66. Open Clinical - <http://www.openclinical.org/home.html> (consulté le 21/08/2014)
67. Hripcsak G. Writing Arden Syntax Medical Logic Modules. *Comput Biol Med.*, 1994;24(5): 331-363.
68. Hripcsak G, Ludemann P, Pryor TA, Wigertz OB, Clayton PD. Rationale for the Arden Syntax. *Comput Biomed Res Int J.*, 1994;27(4): 291-324.
69. Sutton DR, Fox J. The Syntax and Semantics of the PROforma Guideline Modeling Language. *J Am Med Inform Assoc.*, 2003;10(5): 433-443.
70. Johnson PD, Tu S, Booth N, Sugden B, Purves IN. Using scenarios in chronic disease management guidelines for primary care. *Proc AMIA Symp.* 2000; 389-393.
71. Prodigy - <http://prodigy.clarity.co.uk/> (consulté le 21/08/2014)
72. Boxwala AA, Peleg M, Tu S, Ogunyemi O, Zeng QT, Wang D, et al. GLIF3: a representation format for sharable computer-interpretable clinical practice guidelines. *J Biomed Inform.*, 2004;37(3): 147-161.
73. Shahar Y, Miksch S, Johnson P. The Asgaard project: a task-specific framework for the application and critiquing of time-oriented clinical guidelines. *Artif Intell Med.*, 1998;14(1-2): 29-51.
74. Ciccarese P, Caffi E, Boiocchi L, Quaglini S, Stefanelli M. A guideline management system. *Stud Health Technol Inform.*, 2004;107(Pt 1): 28-32.

75. Shiffman RN, Karras BT, Agrawal A, Chen R, Marengo L, Nath S. GEM: a proposal for a more comprehensive guideline document model using XML. *J Am Med Inform Assoc.*, 2000;7(5): 488-498.
76. Tu SW, Campbell JR, Glasgow J, Nyman MA, McClure R, McClay J, et al. The SAGE Guideline Model: Achievements and Overview. *J Am Med Inform Assoc.*, 2007;14(5): 589-598.
77. Campbell JR, Tu SW, Mansfield JG, Boyer JI, McClay J, Parker C, et al. The SAGE Guideline Model: A knowledge representation framework for encoding interoperable clinical practice guidelines.
78. Miller SM, Beattie MM, Butt AA. Personal digital assistant infectious diseases applications for health care professionals. *Clin Infect Dis.*, 2003;36(8): 1018-1029.
79. Linder JA, Rose AF, Palchuk MB, Chang F, Schnipper JL, Chan JC, et al. Decision support for acute problems: The role of the standardized patient in usability testing. *J Biomed Inform.*, 2006;39(6): 648-655.
80. Litvin CB, Ornstein SM, Wessell AM, Nemeth LS, Nietert PJ. Adoption of a clinical decision support system to promote judicious use of antibiotics for acute respiratory infections in primary care. *Int J Med Inf.*, 2012;81(8): 521-526.
81. Mainous AG, Lambourne CA, Nietert PJ. Impact of a clinical decision support system on antibiotic prescribing for acute respiratory infections in primary care: quasi-experimental trial. *J Am Med Inform Assoc.*, 2013;20(2): 317-324.
82. Health D of. Smartphone application for antibiotic prescribing - <http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20130107105354/http://www.dh.gov.uk/health/2012/08/smartphone-antibiotic-prescribing/> (consulté le 21/08/2014)
83. Antibiolor - <http://www.antibiolor.org/site/index.php> (consulté le 21/08/2014)
84. Antibioclic - <http://www.antibioclic.com/> (consulté le 21/08/2014)
85. Jeanmougin P, Aubert J-P, Le Bel J, Nougairède M. [Antibioclic: a tool for rational antibiotic therapy in primary care]. *Rev Prat.*, 2012;62(7):978.
86. AntibioGARDE - <http://www.antibioGARDE.org/> (consulté le 21/08/2014)
87. App of the Month - IAPP Imperial College Academic Health Science Centre.- <http://www.ahsc.org.uk/app-of-the-month-iapp/> (consulté le 21/08/2014)
88. Litvin CB, Ornstein SM, Wessell AM, Nemeth LS, Nietert PJ. Use of an Electronic Health Record Clinical Decision Support Tool to Improve Antibiotic Prescribing for Acute Respiratory Infections: The ABX-TRIP Study. *J Gen Intern Med.*, 2012.

89. Beuscart-Zéphir M-C, Elkin P, Pelayo S, Beuscart R. The human factors engineering approach to biomedical informatics projects: state of the art, results, benefits and challenges. *Yearb Med Inform.*, 2007; 109-127.
90. Belden JL, Grayson R, Barnes J. Defining and Testing EMR Usability: Principles and Proposed Methods of EMR Usability Evaluation and Rating. *Healthcare Information and Management Systems Society (HIMSS)*; 2009.
91. Horsky J, Schiff GD, Johnston D, Mercincavage L, Bell D, Middleton B. Interface design principles for usable decision support: A targeted review of best practices for clinical prescribing interventions. *J Biomed Inform.*, 2012;45(6): 1202-16
92. Khajouei R, Jaspers MWM. The impact of CPOE medication systems' design aspects on usability, workflow and medication orders: a systematic review. *Methods Inf Med.*, 2010;49(1): 3-19.
93. Khajouei R, Jaspers MWM. CPOE system design aspects and their qualitative effect on usability. *Stud Health Technol Inform.*, 2008;136: 309-314.
94. Starren J, Johnson SB. An object-oriented taxonomy of medical data presentations. *J Am Med Inform Assoc.*, 2000;7(1): 1-20.
95. Lamy J-B, Duclos C, Bar-Hen A, Ouvrard P, Venot A. An iconic language for the graphical representation of medical concepts. *BMC Med Inform Decis Mak.*, 2008; 8:16.
96. Lamy J-B, Venot A, Bar-Hen A, Ouvrard P, Duclos C. Design of a graphical and interactive interface for facilitating access to drug contraindications, cautions for use, interactions and adverse effects. *BMC Med Inform Decis Mak.*, 2008; 8:21.
97. Lamy J-B, Soualmia LF, Kerdelhué G, Venot A, Duclos C. Validating the semantics of a medical iconic language using ontological reasoning. *J Biomed Inform.*, 2013;46(1): 56-67.
98. Johnson B, Shneiderman B. Tree-Maps: a space-filling approach to the visualization of hierarchical information structures. *Proceedings of the 2nd conference on Visualization '91*. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society Press; 1991. p. 284-91.
99. Chazard E, Puech P, Gregoire M, Beuscart R. Using Treemaps to represent medical data. *Stud Health Technol Inform.*, 2006;124: 522-527.
100. Beuscart-Zéphir M-C, Leroy N, Alao O, Darmoni S. Usability assessment study of a web site displaying medical resources on line: the CISMef. *Stud Health Technol Inform.*, 2002;90:133-137.

101. Beuscart-Zéphir M-C, Anceaux F, Menu H, Guerlinger S, Watbled L, Evrard F. User-centred, multidimensional assessment method of Clinical Information Systems: a case-study in anaesthesiology. *Int J Med Inf.*, 2005;74(2-4): 179-189.
102. Bastien J, Scapin D. Ergonomic criteria for the evaluation of Human Computer interfaces. Rocquencourt: Inria; 1993. Report No.: RT-0156.
103. Chan J, Shojania KG, Easty AC, Etchells EE. Does user-centred design affect the efficiency, usability and safety of CPOE order sets? *J Am Med Inform Assoc.*, 2011;18(3): 276-281.
104. Charani E, Lawson W, Mookerjee S, Wickens H, Sewell A, Jacklin A, et al. IAPP (Imperial Antimicrobial Prescribing Policy): Harnessing smartphone technology to develop a clinical decision support application for the antimicrobial prescribing policy of a multicentre University Teaching Hospital. Poster.
105. National Institute for Health and Clinical Excellence. NHS Clinical Knowledge Summaries.
106. Séroussi B, Bouaud J, Antoine EC. ONCODOC: a successful experiment of computer-supported guideline development and implementation in the treatment of breast cancer. *Artif Intell Med.* 2001;22(1): 43-64.
107. Bouaud J, Séroussi B, Antoine EC, Gozy M, Khayat D, Boisvieux JF. Hypertextual navigation operationalizing generic clinical practice guidelines for patient-specific therapeutic decisions. *Proc AMIA Symp.* 1998; 488-492.
108. Theng YL, Jones M, Thimbleby H. « Lost in hyperspace »: Psychological problem or bad design? 1996. p. 421-433.
109. Lee N-J, Bakken S. Development of a prototype personal digital assistant-decision support system for the management of adult obesity. *Int J Med Inf.*, 2007;76 Suppl 2: S281-292.
110. Hoeksema LJ, Bazy-Asaad A, Lomotan EA, Edmonds DE, Ramírez-Garnica G, Shiffman RN, et al. Accuracy of a computerized clinical decision-support system for asthma assessment and management. *J Am Med Inform Assoc.*, 2011;18(3): 243-250.
111. Shortliffe EH, Axline SG, Buchanan BG, Merigan TC, Cohen SN. An artificial intelligence program to advise physicians regarding antimicrobial therapy. *Comput Biomed Res Int J.*, 1973;6(6): 544-560.
112. Bell DS, Greenes RA, Doubilet P. Form-based clinical input from a structured vocabulary: initial application in ultrasound reporting. *Proc Annu Symp Comput Appl Med Care.*, 1992; 789-790.

113. Bell DS, Greenes RA. Evaluation of UltraSTAR: performance of a collaborative structured data entry system. *Proc Annu Symp Comput Appl Med Care.*, 1994; 216-222.
114. Chimera R, Shneiderman B. An Exploratory Evaluation of Three Interfaces for Browsing Large Hierarchical Tables of Contents. *ACM Trans Inf Syst.*, 1994;12: 383-406.
115. Hascoët M, Beaudouin-Lafon M. Visualisation interactive d'information. I3 : Information-Interaction-Intelligence. 2001;1(1): 77-108.
116. Tsopra R, Lamy J-B, Venot A, Duclos C. Design of an original interface that facilitates the use of clinical practice guidelines of infection by physicians in primary care. *Stud Health Technol Inform.*, 2012;180: 93-97.
117. Shortliffe EH. Mycin: A Knowledge-Based Computer Program Applied to Infectious Diseases. *Proc Annu Symp Comput Appl Med Care.*, 1977; 66-69.
118. Sackett D. L, Straus S. E, Richardson W. S., Rosenberg W., Haynes R. B. Evidence-based medicine: How to practice and teach EBM. Edinburgh: Elsevier/Churchill Livingstone; 2000.
119. Woolf SH, Grol R, Hutchinson A, Eccles M, Grimshaw J. Potential benefits, limitations, and harms of clinical guidelines. *BMJ.*, 1999;318(7182): 527-530.
120. Lamy J-B, Ebrahiminia V, Riou C, Seroussi B, Bouaud J, Simon C, et al. How to translate therapeutic recommendations in clinical practice guidelines into rules for critiquing physician prescriptions? Methods and application to five guidelines. *BMC Med Inform Decis Mak.*, 2010; 10:31.
121. Musen MA, Tu SW, Das AK, Shahar Y. EON: A Component-Based Approach to Automation of Protocol-Directed Therapy. *J Am Med Inform Assoc.*, 1996;3(6):367-388.
122. Séroussi B, Laouénan C, Gligorov J, Uzan S, Mentré F, Bouaud J. Which breast cancer decisions remain non-compliant with guidelines despite the use of computerised decision support? *Br J Cancer.*, 2013;109(5): 1147-1156.
123. Shekelle PG, Ortiz E, Rhodes S, Morton SC, Eccles MP, Grimshaw JM, et al. Validity of the Agency for Healthcare Research and Quality clinical practice guidelines: how quickly do guidelines become outdated? *J Am Med Assoc.*, 2001;286(12): 1461-1467.
124. Richard Ye L. The value of explanation in expert systems for auditing: An experimental investigation. *Expert Syst Appl.*, 1995;9(4): 543-556.

125. Shankar RD, Martins SB, Tu SW, Goldstein MK, Musen MA. Building an explanation function for a hypertension decision-support system. *Stud Health Technol Inform.*, 2001;84(Pt 1): 538-542.
126. Goldstein MK, Hoffman BB, Coleman RW, Musen MA, Tu SW, Advani A, et al. Implementing clinical practice guidelines while taking account of changing evidence: ATHENA DSS, an easily modifiable decision-support system for managing hypertension in primary care. *Proc AMIA Symp.*, 2000;300-304.
127. Takwoingi Y, Hopewell S, Tovey D, Sutton AJ. A multicomponent decision tool for prioritising the updating of systematic reviews. *BMJ.*, 2013;347:f7191.
128. Sim I, Gorman P, Greenes RA, Haynes RB, Kaplan B, Lehmann H, et al. Clinical Decision Support Systems for the Practice of Evidence-based Medicine. *J Am Med Inform Assoc.*, 2001;8(6): 527-534.
129. Lugtenberg M, Burgers JS, Besters CF, Han D, Westert GP. Perceived barriers to guideline adherence: A survey among general practitioners. *BMC Fam Pract.*, 2011;12(1):98.
130. Tsopra R, Jais J-P, Venot A, Duclos C. Comparison of two kinds of interface, based on guided navigation or usability principles, for improving the adoption of computerized decision support systems: application to the prescription of antibiotics. *J Am Med Inform Assoc.*, 2014;21(e1):e107-116.
131. Griffon N, Kerdelhué G, Soualmia LF, Merabti T, Grosjean J, Lamy J-B, et al. Evaluating alignment quality between iconic language and reference terminologies using similarity metrics. *BMC Med Inform Decis Mak.*, 2014;14:17.
132. Tsopra R, Venot A, Duclos C. Conception d'une interface pour favoriser la prise en compte des recommandations lors de la décision d'une antibiothérapie probabiliste. In: Staccini PPM, Harmel DA, Darmoni PSJ, Gouider PR, éditeurs. *Systèmes d'information pour l'amélioration de la qualité en santé*. Springer Paris; 2012. p. 203-214.
133. Ely JW, Osheroff JA, Ebell MH, Chambliss ML, Vinson DC, Stevermer JJ, et al. Obstacles to answering doctors' questions about patient care with evidence: qualitative study. *BMJ.*, 2002;324(7339):710.
134. Schiff GD, Wisniewski M, Bult J, Parada JP, Aggarwal H, Schwartz DN. Improving inpatient antibiotic prescribing: insights from participation in a national collaborative. *Jt Comm J Qual Improv.*, 2001;27(8): 387-402.

135. Séroussi B, Bouaud J, Sauquet D, Giral P, Cornet P, Falcoff H, et al. Why GPs do not follow computerized guidelines: an attempt of explanation involving usability with ASTI guiding mode. *Stud Health Technol Inform.*, 2010;160(Pt 2): 1236-1240.
136. Thompson PL, Spyridis N, Sharland M, Gilbert RE, Saxena S, Long PF, et al. Changes in clinical indications for community antibiotic prescribing for children in the UK from 1996 to 2006: will the new NICE prescribing guidance on upper respiratory tract infections just be ignored? *Arch Dis Child.*, 2009;94(5): 337 -340.
137. Bangor A, Kortum PT, Miller JT. An Empirical Evaluation of the System Usability Scale. *Int J Hum-Comput Interact.*, 2008;24(6): 574-594.
138. Bangor A, Kortum P, Miller J. Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale. *J Usability Stud.*, 2009;4(3): 114-123.
139. Hills M, Armitage P. The two-period cross-over clinical trial. *Br J Clin Pharmacol.*, 1979;8(1): 7-20.
140. Yen P-Y, Bakken S. Review of health information technology usability study methodologies. *J Am Med Inform Assoc.*, 2012;19(3): 413-422.
141. Beuscart-Zéphir MC, Pelayo S, Anceaux F, Meaux J-J, Degroisse M, Degoulet P. Impact of CPOE on doctor-nurse cooperation for the medication ordering and administration process. *Int J Med Inf.*, 2005;74(7-8): 629-641.
142. Alexander GL. Issues of trust and ethics in computerized clinical decision support systems. *Nurs Adm Q.*, 2006;30(1): 21-29.
143. Goddard BL. Termination of a contract to implement an enterprise electronic medical record system. *J Am Med Inform Assoc.*, 2000;7(6): 564-568.
144. Field TS, Rochon P, Lee M, Gavendo L, Subramanian S, Hoover S, et al. Costs Associated with Developing and Implementing a Computerized Clinical Decision Support System for Medication Dosing for Patients with Renal Insufficiency in the Long-term Care Setting. *J Am Med Inform Assoc.*, 2008;15(4): 466-472.
145. Ash JS, Sittig DF, Campbell EM, Guappone KP, Dykstra RH. Some Unintended Consequences of Clinical Decision Support Systems. *AMIA Annu Symp Proc.*, 2007: 26-30.
146. Griffon N, Kerdelhué G, Hamek S, Hassler S, Boog C, Lamy J-B, et al. Design and usability study of an iconic user interface to ease information retrieval of medical guidelines. *J Am Med Inform Assoc.*, 2014.

147. Moxey A, Robertson J, Newby D, Hains I, Williamson M, Pearson S-A. Computerized clinical decision support for prescribing: provision does not guarantee uptake. *J Am Med Inform Assoc.*, 2010;17(1): 25-33.
148. Kaiser K, Akkaya C, Miksch S. How can information extraction ease formalizing treatment processes in clinical practice guidelines? A method and its evaluation. *Artif Intell Med.*, 2007;39(2): 151-163.
149. Varonen H, Kortteisto T, Kaila M. What may help or hinder the implementation of computerized decision support systems (CDSSs): a focus group study with physicians. *Fam Pract.*, 2008;25(3): 162-167.
150. Pasche E, Ruch P, Teodoro D, Huttner A, Harbarth S, Gobeill J, et al. Assisted knowledge discovery for the maintenance of clinical guidelines. *PloS One.*, 2013;8(4):e62874.
151. Pasche E, Teodoro D, Gobeill J, Ruch P, Lovis C. QA-driven guidelines generation for bacteriotherapy. *AMIA Annu Symp Proc.*, 2009: 509-513.
152. McDonald CJ. The Barriers to Electronic Medical Record Systems and How to Overcome Them. *J Am Med Inform Assoc.*, 1997;4(3): 213-221.
153. Georg G, Jaulent M-C. An Environment for Document Engineering of Clinical Guidelines. *AMIA Annu Symp Proc.*, 2005: 276-280.
154. Skonetzki S, Gausepohl H-J, van der Haak M, Knaebel S, Linderkamp O, Wetter T. HELEN, a modular framework for representing and implementing clinical practice guidelines. *Methods Inf Med.*, 2004;43(4): 413-426.
155. Okuda Y, Bryson EO, DeMaria S, Jacobson L, Quinones J, Shen B, et al. The Utility of Simulation in Medical Education: What Is the Evidence? *Mt Sinai J Med.*, 2009;76(4): 330-343.

LISTE DES PUBLICATIONS

Tsopra R, Venot A, Duclos C. An algorithm using twelve properties of antibiotics to find the recommended antibiotics, as in CPGs. **Accepté à AMIA 2014.**

Tsopra R, Venot A, Duclos C. Towards evidence-based CDSSs implementing the medical reasoning contained in CPGs: application to antibiotic prescription. **Stud Health Technol Inform.** 2014;205:13-7. **Présenté à MIE 2014, Istanbul.**

Tsopra R, Jais JP, Venot A, Duclos C. Comparison of two kinds of interface, based on guided navigation or usability principles, for improving the adoption of computerized decision support systems: application to the prescription of antibiotics. **J Am Med Inform Assoc.** JAMIA 21(e1) (2014), e107-116.

Tsopra R, Venot A, Duclos C. Vers un système d'aide à la décision innovant pour optimiser la prescription des antibiotiques en médecine générale. **Présenté à la session francophone MEDINFO 2013, Copenhague.**

Tsopra R, Lamy JB, Venot A, Duclos C. Design of an original interface to facilitate the use of infectious clinical guidelines by physicians in primary care. **Stud Health Technol Inform.** 2012;180:93-7. **Présenté à MIE 2012, Pise.**

Tsopra R, Venot A, Duclos C. Conception d'une interface pour favoriser la prise en compte des recommandations lors de la décision d'une antibiothérapie probabiliste. **Informatique et Santé**, 2011 (18) : 205-216, Springer – Verlag. **Présenté aux JIFIM 2011, Tunis.**

RESUME EN FRANÇAIS

Contexte : Les Systèmes d'Aide à la Décision (SAD) en antibiothérapie empirique présentent plusieurs limites : (i) leurs recommandations sont uniquement valables pour les profils patient décrits dans les Guides de Bonnes Pratiques cliniques (GBP) ; (ii) leur mise à jour est rare ; (iii) leur ergonomie défectueuse gêne leur adoption en pratique clinique courante. Pour pallier ces limites, nous proposons une approche conduisant à un SAD capable de générer automatiquement des recommandations, comme le font les experts qui écrivent les GBPs, et de les afficher dans une interface porteuse de connaissances, facile à utiliser. **Méthodes** : Notre démarche a consisté à (i) extraire des GBPs le raisonnement médical profond qu'utilisent les experts pour établir les recommandations ; (ii) utiliser le processus de décision en antibiothérapie empirique et les principes d'utilisabilité pour concevoir une interface agréable à utiliser. **Résultats** : L'implémentation du raisonnement médical des experts sous la forme d'un algorithme utilisant 12 propriétés des antibiotiques permet de retrouver automatiquement les antibiotiques recommandés quelle que soit la situation clinique, sans l'intervention des experts. Ces propriétés pourraient être mises à jour automatiquement via des ressources extérieures telles que les bases de données médicamenteuses. La création d'une interface porteuse de connaissances, selon le processus de décision en antibiothérapie et les principes d'utilisabilité, améliore significativement l'utilisabilité perçue et la confiance des médecins dans le système. **Conclusion** : L'extrapolation de notre approche à des pathologies chroniques mérite d'être étudiée.

TITRE EN ANGLAIS

Conception and Evaluation of a clinical decision support system implementing the medical reasoning of the experts writing clinical practice guidelines for the empiric prescription of antibiotics.

RÉSUMÉ EN ANGLAIS

Context: CDSS (Clinical Decision Support System) for the empiric prescription of antibiotics present many limits: (i) recommendations are only given for clinical situations that are described in CPGs (Clinical Practice Guidelines); (ii) updating is infrequent; (iii) poor ergonomics is an impediment to clinical adoption. To overcome these limits, we propose an approach leading to a CDSS that is able to generate recommendations as in CPGs, and to display recommendations in an interface supporting knowledge. **Methods**: Our approach consists in (i) extracting from CPGs the deep medical reasoning used by experts to establish recommendations, (ii) using the decision process in empiric antibiotherapy and the usability principles to design a pleasant interface. **Results**: The implementation of the medical reasoning of the experts as an algorithm using 12 properties of antibiotics, allows to retrieve automatically the recommended antibiotics for all clinical situations, without the intervention of the experts. These properties could be updated automatically thanks to others resources like drugs data bases. The design of an interface supporting knowledge according to the decision process in empiric antibiotherapy and the usability principles, improve significantly the perceived usability and the confidence in the system. **Conclusion**: The extrapolation of our approach to the chronic diseases should be assessed.

DISCIPLINE

Informatique médicale

MOTS CLEFS

Système d'aide à la décision informatisé, Antibiothérapie empirique, Soins primaires, Guides de Bonnes Pratiques Cliniques, Raisonnement médical, Utilisabilité, Interface utilisateur.

LABORATOIRE

LIMICS, Inserm UMRS 1142, Université Paris 13, Université Paris 6
UFR SMBH Léonard de Vinci, Université Paris 13, Sorbonne Paris Cité
74 rue Marcel Cachin, 93017, Bobigny, France.