

**THÈSE
POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT
DE DOCTEUR EN PHARMACIE**

**Soutenue publiquement le 18 septembre 2026
Par Mme HOYEZ Yanet**

**ÉTAT DES LIEUX DES OUTILS NUMÉRIQUES DISPONIBLES
DANS LA PRISE EN CHARGE DU RISQUE INFECTIEUX EN FRANCE**

Membres du jury :

Président :

Monsieur le Professeur FOLIGNÉ Benoît
PU, Faculté de Pharmacie de Lille

Directrice de thèse :

Madame le Docteur DEWULF Gisèle
Pharmacien PH, CH de Valenciennes

Assesseurs :

Madame le Professeur FAURE Karine
Médecin PU-PH, CHU de Lille

Madame le Docteur KIZONZOLO DE BELLO
Saënsie-Orlène
Pharmacien, EMA CH de Tourcoing

Monsieur le Docteur DEGRENDÉL Maxime
Médecin PHC, CH de Roubaix

Université de Lille

Président
Premier Vice-président
Vice-présidente Formation
Vice-président Recherche
Vice-président Ressources Humaine
Directrice Générale des Services

Régis BORDET
Bertrand DÉCAUDIN
Corinne ROBACZEWSKI
Olivier COLOT
Jean-Philippe TRICOIT
Anne-Valérie CHIRIS-FABRE

UFR3S

Doyen
Premier Vice-Doyen, Vice-Doyen RH, SI et Qualité
Vice-Doyenne Recherche
Vice-Doyen Finances et Patrimoine
Vice-Doyen International
Vice-Doyen Coordination pluriprofessionnelle et Formations sanitaires
Vice-Doyenne Formation tout au long de la vie
Vice-Doyen Territoire-Partenariats
Vice-Doyen Santé numérique et Communication
Vice-Doyenne Vie de Campus
Vice-Doyen étudiant

Dominique LACROIX
Hervé HUBERT
Karine FAURE
Emmanuelle LIPKA
Vincent DERAMECOURT
Sébastien D'HARANCY
Caroline LANIER
Thomas MORGENROTH
Vincent SOBANSKI
Anne-Laure BARBOTIN
Victor HELENA

Faculté de Pharmacie

Vice - Doyen
Premier Assesseur et
Assesseur à la Santé et à l'Accompagnement
Assesseur à la Vie de la Faculté et
Assesseur aux Ressources et Personnels
Responsable de l'Administration et du Pilotage
Représentant étudiant
Chargé de mission 1er cycle
Chargée de mission 2eme cycle
Chargé de mission Accompagnement et Formation à la Recherche
Chargé de mission Relations Internationales
Chargée de Mission Qualité
Chargé de mission dossier HCERES

Pascal ODOU

Anne GARAT

Emmanuelle LIPKA
Cyrille PORTA
Honoré GUISE
Philippe GERVOIS
Héloïse HENRY
Nicolas WILLAND
Christophe FURMAN
Marie-Françoise ODOU
Réjane LESTRELIN

Professeurs des Universités - Praticiens Hospitaliers (PU-PH)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
Mme	ALLORGE	Delphine	Toxicologie et Santé publique	81
M.	BROUSSEAU	Thierry	Biochimie	82
M.	DÉCAUDIN	Bertrand	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	81
M.	DINE	Thierry	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	81
Mme	DUPONT-PRADO	Annabelle	Hématologie	82
Mme	GOFFARD	Anne	Bactériologie - Virologie	82
M.	GRESSIER	Bernard	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	81
M.	ODOU	Pascal	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	80
Mme	POULAIN	Stéphanie	Hématologie	82
M.	SIMON	Nicolas	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	81
M.	STAELS	Bart	Biologie cellulaire	82

Professeurs des Universités (PU)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
M.	ALIOUAT	El Moukhtar	Parasitologie - Biologie animale	87
Mme	ALIOUAT	Cécile-Marie	Parasitologie - Biologie animale	87
Mme	AZAROUAL	Nathalie	Biophysique - RMN	85
M.	BERLARBI	Karim	Physiologie	86
M.	BERTIN	Benjamin	Immunologie	87
M.	BLANCHEMAIN	Nicolas	Pharmacotechnie industrielle	85
M.	CARNOY	Christophe	Immunologie	87
M.	CAZIN	Jean-Louis	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	86
M.	CUNY	Damien	Sciences végétales et fongiques	87
Mme	DELBAERE	Stéphanie	Biophysique - RMN	85
Mme	DEPREZ	Rebecca	Chimie thérapeutique	86
M.	DEPREZ	Benoît	Chimie bio inorganique	85

Mme	DUMONT	Julie	Biologie cellulaire	87
M.	ELATI	Mohamed	Biomathématiques	27
M.	FOLIGNÉ	Benoît	Bactériologie - Virologie	87
Mme	FOULON	Catherine	Chimie analytique	85
M.	GARÇON	Guillaume	Toxicologie et Santé publique	86
M.	GOOSSENS	Jean-François	Chimie analytique	85
M.	HENNEBELLE	Thierry	Pharmacognosie	86
M.	LEBEGUE	Nicolas	Chimie thérapeutique	86
M.	LEMDANI	Mohamed	Biomathématiques	26
Mme	LESTAVEL	Sophie	Biologie cellulaire	87
Mme	LESTRELIN	Réjane	Biologie cellulaire	87
Mme	LIPKA	Emmanuelle	Chimie analytique	85
Mme	MELNYK	Patricia	Chimie physique	85
M.	MILLET	Régis	Institut de Chimie Pharmaceutique Albert Lespagnol	86
M.	MOREAU	Pierre-Arthur	Sciences végétales et fongiques	87
Mme	MUHR-TAILLEUX	Anne	Biochimie	87
Mme	PERROY	Anne-Catherine	Droit et Economie pharmaceutique	86
Mme	RIVIÈRE	Céline	Pharmacognosie	86
Mme	ROMOND	Marie-Bénédicte	Bactériologie - Virologie	87
Mme	SAHPAZ	Sevser	Pharmacognosie	86
M.	SERGHERAERT	Éric	Droit et Economie pharmaceutique	86
M.	SIEPMANN	Juergen	Pharmacotechnie industrielle	85
Mme	SIEPMANN	Florence	Pharmacotechnie industrielle	85
M.	WILLAND	Nicolas	Chimie organique	86

Maîtres de Conférences - Praticiens Hospitaliers (MCU-PH)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
Mme	CUVELIER	Élodie	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	81
Mme	DANEL	Cécile	Chimie analytique	85
Mme	DEMARET	Julie	Immunologie	82
Mme	GARAT	Anne	Toxicologie et Santé publique	81
Mme	GENAY	Stéphanie	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	81
Mme	GILLIOT	Sixtine	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	80
M.	GRZYCH	Guillaume	Biochimie	82
Mme	HENRY	Héloïse	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	80
M.	LANNOY	Damien	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	80
Mme	MASSE	Morgane	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	81
Mme	ODOU	Marie-Françoise	Bactériologie - Virologie	82

Maîtres de Conférences des Universités (MCU)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
M.	ANTHÉRIEU	Sébastien	Toxicologie et Santé publique	86
M.	BANTUBUNGI-BLUM	Kadiombo	Biologie cellulaire	87
M.	BERTHET	Jérôme	Biophysique - RMN	85
M	BEDART	Corentin	ICPAL	86
M.	BOCHU	Christophe	Biophysique - RMN	85
M.	BORDAGE	Simon	Pharmacognosie	86
M.	BOSC	Damien	Chimie thérapeutique	86
Mme	BOU KARROUM	Nour	Chimie bioinorganique	
M.	BRIAND	Olivier	Biochimie	87
Mme	CARON-HOUDE	Sandrine	Biologie cellulaire	87
Mme	CARRIÉ	Hélène	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	86
Mme	CHABÉ	Magali	Parasitologie - Biologie animale	87

Mme	CHARTON	Julie	Chimie organique	86
M.	CHEVALIER	Dany	Toxicologie et Santé publique	86
Mme	DEMANCHE	Christine	Parasitologie - Biologie animale	87
Mme	DEMARQUILLY	Catherine	Biomathématiques	85
M.	DHIFLI	Wajdi	Biomathématiques	27
M.	EL BAKALI	Jamal	Chimie thérapeutique	86
M.	FARCE	Amaury	Institut de Chimie Pharmaceutique Albert Lespagnol	86
M.	FLIPO	Marion	Chimie organique	86
M.	FRULEUX	Alexandre	Sciences végétales et fongiques	
M.	FURMAN	Christophe	Institut de Chimie Pharmaceutique Albert Lespagnol	86
M.	GERVOIS	Philippe	Biochimie	87
Mme	GOOSSENS	Laurence	Institut de Chimie Pharmaceutique Albert Lespagnol	86
Mme	GRAVE	Béatrice	Toxicologie et Santé publique	86
M.	HAMONIER	Julien	Biomathématiques	26
Mme	HAMOUDI-BEN YELLES	Chérifa-Mounira	Pharmacotechnie industrielle	85
Mme	HANNOThIAUX	Marie-Hélène	Toxicologie et Santé publique	86
Mme	HELLEBOID	Audrey	Physiologie	86
M.	HERMANN	Emmanuel	Immunologie	87
M.	KAMBIA KPAKPAGA	Nicolas	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	86
M.	KARROUT	Younes	Pharmacotechnie industrielle	85
Mme	LALLOYER	Fanny	Biochimie	87
Mme	LECOEUR	Marie	Chimie analytique	85
Mme	LEHMANN	Hélène	Droit et Economie pharmaceutique	86
Mme	LELEU	Natascha	Institut de Chimie Pharmaceutique Albert Lespagnol	86
M.	LIBERELLE	Maxime	Biophysique - RMN	
Mme	LOINGEVILLE	Florence	Biomathématiques	26
Mme	MARTIN	Françoise	Physiologie	86
M.	MARTIN MENA	Anthony	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	

M.	MENETREY	Quentin	Bactériologie - Virologie	87
M.	MORGENROTH	Thomas	Droit et Economie pharmaceutique	86
Mme	MUSCHERT	Susanne	Pharmacotechnie industrielle	85
Mme	NIKASINOVIC	Lydia	Toxicologie et Santé publique	86
Mme	PINÇON	Claire	Biomathématiques	85
M.	PIVA	Frank	Biochimie	85
Mme	PLATEL	Anne	Toxicologie et Santé publique	86
M.	POURCET	Benoît	Biochimie	87
M.	RAVAUX	Pierre	Biomathématiques / Innovations pédagogiques	85
Mme	RAVEZ	Séverine	Chimie thérapeutique	86
Mme	ROGEL	Anne	Immunologie	
M.	ROSA	Mickaël	Hématologie	87
M.	ROUMY	Vincent	Pharmacognosie	86
Mme	SEBTI	Yasmine	Biochimie	87
Mme	SINGER	Elisabeth	Bactériologie - Virologie	87
Mme	STANDAERT	Annie	Parasitologie - Biologie animale	87
M.	TAGZIRT	Madjid	Hématologie	87
M.	VILLEMAGNE	Baptiste	Chimie organique	86
M.	WELTI	Stéphane	Sciences végétales et fongiques	87
M.	YOUS	Saïd	Chimie thérapeutique	86
M.	ZITOUNI	Djamel	Biomathématiques	85

Professeurs certifiés

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement
Mme	FAUQUANT	Soline	Anglais
M.	HUGES	Dominique	Anglais
Mme	KUBIK	Laurence	Anglais
M.	OSTYN	Gaël	Anglais

Professeurs Associés

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
M.	BAILLY	Christian	ICPAL	86
M.	DAO PHAN	Haï Pascal	Chimie thérapeutique	86
M.	DHANANI	Alban	Droit et Economie pharmaceutique	86

Maîtres de Conférences Associés

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
M	AYED	Elya	Pharmacie officinale	
M.	COUSEIN	Etienne	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	
Mme	CUCCHI	Malgorzata	Biomathématiques	85
Mme	DANICOURT	Frédérique	Pharmacie officinale	
Mme	DUPIRE	Fanny	Pharmacie officinale	
M.	DUFOSSEZ	François	Biomathématiques	85
M.	FRIMAT	Bruno	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	85
Mme	GEILER	Isabelle	Pharmacie officinale	
M.	GILLOT	François	Droit et Economie pharmaceutique	86
M.	MITOUMBA	Fabrice	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	86
M.	PELLETIER	Franck	Droit et Economie pharmaceutique	86
M	POTHIER	Jean-Claude	Pharmacie officinale	
Mme	ROGNON	Carole	Pharmacie officinale	

Assistants Hospitalo-Universitaire (AHU)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
M.	BOUDRY	Augustin	Biomathématiques	
Mme	DERAMOUDT	Laure	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	
M.	GISH	Alexandr	Toxicologie et Santé publique	
Mme	NEGRIER	Laura	Chimie analytique	

Hospitalo-Universitaire (PHU)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
M.	DESVAGES	Maximilien	Hématologie	
Mme	LENSKI	Marie	Toxicologie et Santé publique	

Attachés Temporaires d'Enseignement et de Recherche (ATER)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
Mme	BERNARD	Lucie	Physiologie	
Mme	BARBIER	Emeline	Toxicologie	
Mme	COMPAGNE	Nina	Chimie Organique	
Mme	COULON	Audrey	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	
M.	DUFOSSEZ	Robin	Chimie physique	
Mme	FERRY	Lise	Biochimie	
M	HASYEOUI	Mohamed	Chimie Organique	
Mme	HENRY	Doriane	Biochimie	
Mme	KOUAGOU	Yolène	Sciences végétales et fongiques	
M	LAURENT	Arthur	Chimie-Physique	
M.	MACKIN MOHAMOUR	Synthia	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	
Mme	RAAB	Sadia	Physiologie	

Enseignant contractuel

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement
Mme	DELOBEAU	Iris	Pharmacie officinale
M	RIVART	Simon	Pharmacie officinale
Mme	SERGEANT	Sophie	Pharmacie officinale
M.	ZANETTI	Sébastien	Biomathématiques

LRU / MAST

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement
Mme	FRAPPE	Jade	Pharmacie officinale
M	LATRON-FREMEAU	Pierre-Manuel	Pharmacie officinale
M.	MASCAUT	Daniel	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique

CYCLE DE VIE DU DOCUMENT

Version	Modifié par	Date	Principales modifications
1.0		20/02/2020	Création
2.0		02/01/2022	Mise à jour
2.1		21/06/2022	Mise à jour
2.2		01/02/2024	Mise à jour
2.3		15/11/2024	Mise à jour
2.4		18/02/2025	Mise à jour

UFR3S-Pharmacie

L'Université n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les thèses ; celles-ci sont propres à leurs auteurs.



REMERCIEMENTS

À mon président de jury,

Monsieur le Professeur Benoit FOLIGNÉ

Professeur des Universités, Faculté de Pharmacie de Lille

Vous me faites l'honneur de présider ce jury de thèse et d'avoir accepté de juger ce travail. Je vous remercie, soyez assuré de mon profond respect et de toute ma reconnaissance.

À mes assesseurs,

Madame le Professeur Karine FAURE

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier, Service des Maladies Infectieuses, CHU de Lille

Vous me faites l'honneur de participer à ce jury et d'apporter votre expertise d'infectiologue à l'évaluation de ce travail. Soyez assurée de toute ma reconnaissance.

Madame le Docteur Saënsie-Orlène KIZONZOLO DE BELLO

Pharmacien EMA CH de Tourcoing

Je vous remercie d'avoir accepté de participer à mon jury de thèse et d'apporter votre regard dans le jugement de ce travail. Soyez assurée de toute ma reconnaissance.

Monsieur le Docteur Maxime DEGRENDÉL

Praticien Hospitalier Contractuel, Unité de Gestion du Risque Infectieux, CH de Roubaix

Je te remercie d'avoir accepté avec enthousiasme de participer à mon jury de thèse afin d'évaluer mon travail, d'apporter tes connaissances et tes réflexions sur ce sujet. Soit assuré de ma sincère reconnaissance.

À ma directrice de thèse,

Madame le Docteur Gisèle DEWULF

Praticien Hospitalier, Service de Microbiologie, Centre Hospitalier de Valenciennes

Je te remercie sincèrement d'avoir accepté d'encadrer ma thèse d'exercice et de m'avoir proposé ce sujet. Merci pour la confiance que tu m'as accordée dans ce projet, pour ta disponibilité, tes conseils et ta bienveillance. Ce fut un réel plaisir de travailler avec toi, d'en apprendre plus sur le risque infectieux au sens large, et de profiter de ton point de vue et de tes connaissances. Sois assurée de ma profonde gratitude.

Je tiens également à remercier,

La pharmacie du Telhuet : Isabelle, Lucie, Manon et Charlotte. Merci pour ces années d'apprentissage à vos côtés, j'ai adoré travailler avec vous, même si je n'ai pas poursuivi mon cursus en officine. Merci pour votre soutien constant et votre bienveillance. Je garderai toujours un très bon souvenir de ces moments passés ensemble.

Les nombreux biologistes et techniciens que j'ai pu côtoyer durant les différents stages de mon internat.

En particulier les techniciens de bactériologie du CHU de Lille : Sammy, Karl, Aude-Marie, Camille, Marion, Nadia, Clément, Ramdane, et les autres. Vous m'avez donné goût à la bactériologie et m'avez transmis toutes vos connaissances. C'était un réel plaisir de travailler dans la bonne humeur avec vous tous.

À toute l'équipe de microbiologie du CH de Valenciennes. Aux biologistes : Gisèle, Edith, Tristan, Frédérique, Manica, Maxime, Félix et Tasnim : merci pour ce semestre à vos côtés, pour votre encadrement et pour toutes les connaissances que vous m'avez transmises.

À toute l'équipe du laboratoire du CH de Tourcoing, et notamment aux biologistes : Pierre, François, Gabrielle, Malicka et Guillaume. Merci pour votre bienveillance tout au long du semestre, merci d'avoir pris le temps de partager vos connaissances avec moi, c'était un plaisir de travailler à vos côtés.

À toute l'équipe du service de virologie du CHU de Lille : merci pour ce semestre à vos côtés, et pour votre disponibilité face à n'importe quelle question. C'est toujours très agréable de travailler avec vous.

Je dédie cette thèse,

À mes parents,

Merci de m'avoir permis d'avoir cette vie, de m'avoir permis de réaliser mes études à Rouen, et pour votre aide et votre soutien constant (notamment pendant l'année de PACES et l'année du concours de l'internat). Merci de nous avoir toujours priorisés et de nous avoir tant donné, c'est grâce à vous si j'en suis là aujourd'hui.

À ma sœur Lucia,

Merci pour tous ces moments entre sœurs, pour ton soutien et ta bonne humeur communicative, j'ai tellement de chance de t'avoir à mes côtés. Je suis heureuse d'avoir pu te retrouver quelques années à Lille, d'avoir pu te voir évoluer et je suis très fière de tout ce que tu accomplis dans ta vie. Tu es un modèle pour moi saches-le.

À mon frère Charles,

Merci pour ton soutien et pour tous ces moments de rigolade entre frère et sœurs. Je suis fière du travail que tu as accompli et j'ai hâte de t'avoir comme futur collègue.

À ma grand-mère Marie-Jeanne,

Merci pour ton soutien et ta bonne humeur depuis toutes ces années. Je suis tellement contente d'avoir pu profiter de ta compagnie en revenant à Lille pour mon internat. Merci pour ces nombreux repas partagés, discussions et pour tout ce que tu fais pour moi.

À ma marraine Cathy, à Denis, à mes cousins Benoît, Coralie, Martin et Théo,

Merci pour votre soutien constant et pour tous ces moments passés ensemble. Vous avez toujours éveillé mon esprit et m'avez transmis le goût de l'aventure. Merci pour tout ce que vous avez toujours fait pour moi.

À ma famille du Pérou et de Bolivie,

Merci pour votre accueil qui me fait chaud au cœur à chaque fois que nous venons. Merci de nous partager votre quotidien et votre culture, qui font partie intégrante de moi aujourd'hui.

À Antoine,

Mon partenaire de vie, merci pour ton soutien depuis le début. Merci de m'avoir suivi à Lille et de m'accompagner dans tous mes projets. Merci de supporter toutes mes humeurs et de me suivre dans mes voyages et aventures les plus folles. Le meilleur nous attend. Je t'aime fort.

À mes copines de pharmacie : Séra, Jasmine, Margot, Nina, Meumeu et Léa,

Séra, tu as été la motivation et la bienveillance qui m'ont permis de réussir le concours de l'internat. Merci pour tous ces moments de révision à la BU mais aussi pour toutes ces discussions pendant nos pauses. J'ai été tellement fière de te voir devenir Docteur, comme quoi il suffit d'être bien entourée pour réussir. Je suis heureuse de pouvoir compter sur toi comme amie.

Jasmine et Margot, merci pour ces années à Rouen, entre révisions et soirées qu'est-ce qu'on a pu rigoler. Même si on est aux extrémités de la France aujourd'hui je garderai toujours de très bons souvenirs de ces années folles.

Nina, Meumeu et Léa, merci pour tous ces moments de rigolade. J'ai adoré ces années de pharma grâce à vous et je suis fière de vous voir accomplir vos projets.

Aux autres amis rencontrés à Rouen : Pierre, Kilian et Nolan,

Merci pour ces années, entre soirées, vacances et j'en passe, c'est toujours un plaisir de vous voir évoluer dans vos projets et de passer des moments avec vous.

Aux belles rencontres de l'internat,

À mes co-internes de bactério du CHU, Laura, Lillian, Redwan et Hugo, merci pour ces moments, discussions et réflexions partagés pendant ce semestre.

Laura, tu auras été une de mes premières rencontres de l'internat en arrivant à Lille, merci pour ces moments passés, entre soirées (et déménagements) c'est toujours un plaisir de se retrouver autour d'une bière pour discuter et se raconter nos vies.

À mes co-internes de Valenciennes : Alizé, Thomas, Léo, Amine, Jojo et Laura,

Alizé, tu fais partie de mes plus belles rencontres de l'internat, entre potins, fous rires et travail sérieux (ne l'oublions pas), c'est toujours un plaisir de travailler ensemble dans la bonne humeur. Merci pour tes conseils et ta positivité constante face à n'importe quel doute. Peut-être qu'on se recroisera dans les îles en tant que futures collègues qui sait ?

Thomas, merci pour ce semestre, qui restera un des meilleurs à mes yeux, merci pour tes conseils et pour ta bonne humeur au quotidien.

Léo, une de mes plus belles rencontres aussi, c'est toujours un plaisir de se retrouver autour d'un apéro pour jouer à des jeux (ou en garde ;)). Merci pour tous ces moments passés ensemble.

À mes co-internes d'hémato : Baptiste, Nathanaël, Mathilde et Redwan,

Merci pour ce semestre et pour toutes ces pauses café. Ce semestre aura été une sacrée charge de travail mais c'était toujours un plaisir de se retrouver avec l'un de vous en binôme de validation ou en binôme de garde. Merci pour ces fous rires qui m'ont laissé un bon souvenir de ce semestre.

À ma co-interne de Tourcoing Clara,

Merci pour tous tes conseils et ta bonne humeur constante. Ça aura été un réel plaisir de partager ce semestre avec toi.

Aux autres rencontres : Juliette, Thomas, Théodore, Agathe et Manon,

Merci pour votre gentillesse et pour ces moments passés ensemble, c'est toujours un plaisir de vous retrouver autour d'un verre.

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES FIGURES.....	21
TABLE DES TABLEAUX.....	22
TABLE DES ANNEXES	23
TABLE DES ABRÉVIATIONS.....	24
INTRODUCTION	28
I. ENJEUX AUTOUR DU RISQUE INFECTIEUX.....	30
1. LE RISQUE INFECTIEUX A L'HOPITAL : INFECTIONS NOSOCOMIALES ET SEPSIS	30
1.1 INFECTIONS NOSOCOMIALES	30
1.1.1 Définition et origines	30
1.1.2 Épidémiologie en France.....	31
1.1.3 Moyens de prévention	35
i. Politiques de prévention	35
ii. Organisation	37
1.2 SEPSIS.....	40
1.2.1 Définition	40
1.2.2 Épidémiologie et enjeux	41
2. LUTTE CONTRE L'ANTIBIORESISTANCE ET BON USAGE DES ANTIBIOTIQUES	43
2.1 L'ANTIBIORESISTANCE	43
2.1.1 Définition	43
2.1.2 Description des espèces bactériennes et leurs résistances incriminées	44
2.1.3 État des lieux de la consommation d'antibiotiques en France	45
2.1.4 Épidémiologie des résistances bactériennes à l'échelle nationale	47
2.2 DEFINITION BON USAGE DES ANTIBIOTIQUES	50
2.3 PROBLEMATIQUES ACTUELLES.....	52
3. EFFETS INDESIRABLES EN MILIEU HOSPITALIER ET PREVENTION	53
3.1 DEFINITION ET PREVENTION	53
3.2 ÉPIDEMIOLOGIE	54

II. MÉTHODOLOGIE.....	55
III. OUTILS NUMÉRIQUES AUTOUR DU RISQUE INFECTIEUX	56
1. NUMERIQUE EN SANTE ET INTELLIGENCE ARTIFICIELLE.....	56
1.1 DEFINITIONS.....	56
1.2 REGLEMENTATIONS.....	59
2. HISTORIQUE DU NUMERIQUE EN MILIEU HOSPITALIER.....	62
2.1 CONTEXTE	62
2.2 PREMIERS OUTILS NUMERIQUES DANS LA PRISE EN CHARGE INFECTIEUSE	64
3. ÉTAT DES LIEUX DES OUTILS NUMERIQUES DISPONIBLES DANS LA PRISE EN CHARGE INFECTIEUSE	66
3.1 OUTILS D'AIDE AU DIAGNOSTIC INFECTIEUX	66
3.1.1 Aide à la lecture des milieux de culture gélosés au laboratoire	66
3.1.2 Prédiction de la résistance aux antibiotiques : analyse de génomes et de spectres MALDI-TOF bactériens.....	69
3.1.3 Diagnostic du paludisme par analyse d'images de frottis sanguins	71
3.1.4 Diagnostic de tuberculose pulmonaire par analyse de résultats d'imagerie	72
3.2 OUTILS D'AIDE A LA DECISION CLINIQUE	74
3.2.1 Outils de prédiction du sepsis	74
3.2.2 Outils de prédiction d'infection post-opératoires	80
3.3 OUTILS D'AIDE A LA DECISION CLINIQUE ET A LA PRESCRIPTION D'ANTIMICROBIENS	82
3.3.1 Sites internet et applications autonomes	82
3.3.2 Logiciels intégrés	92
3.4 OUTILS D'AIDE A LA SURVEILLANCE DES INFECTIONS	95
DISCUSSION.....	101
CONCLUSION.....	105
ANNEXES.....	106
BIBLIOGRAPHIE	110

TABLE DES FIGURES

Figure 1: Prévalence des patients infectés, par région. ENP, France, 2022 (16).....	32
Figure 2 : Évolution entre 2017 et 2022 de la prévalence des principaux sites infectieux. ENP, France, 2022 (16).....	34
Figure 3 : Principales localisations d'infection nosocomiale par site infectieux selon les données de l'ENP 2022	34
Figure 4 : Consommation totale d'antibiotiques en établissement de santé, par secteur d'activité clinique. Santé humaine, 2024 (42).....	46
Figure 5 : Escherichia coli. Pourcentage de souches invasives résistantes aux céphalosporines de 3ème generation (Céfotaxime/Ceftriaxone/Ceftazidime), par pays, EU/EEA, 2024 (45)	48
Figure 6 : Klebsiella pneumoniae. Pourcentage de souches invasives résistantes aux carbapénèmes (Imipénème/Méropénème), par pays, EU/EEA, 2024 (45)	48
Figure 7 : Évolution entre 2002 et 2024 de l'incidence (nombre de souches pour 1000 JH) des SARM, des EBLSE (nombre d'établissements participants variable chaque année, changement de méthode de surveillance en 2018, recueil agrégé en 2023) (46).....	50
Figure 8 : Comparaison des courbes de ROC pour InSight, SIRS, MEWS et SOFA pour A : l'apparition du sepsis ; B : l'apparition du sepsis sévère et C : le choc septique (128).....	75
Figure 9 : AUROC pour comparer les scores de risque pour la prédiction du sepsis jusqu'à 3 heures à l'avance (131)	77
Figure 10 : Courbes ROC au début du sepsis (a) et AUROC jusqu'à trois heures avant le début du sepsis (b) pour le SEPSI Score et les scores SOFA, SIRS, MEWS et qSOFA (134)	79
Figure 11 : Interface du site internet Antibiogilar : exemple des recommandations du CH de Tourcoing pour les pyélonéphrites aiguës (149).....	85
Figure 12 : Interface d'Antibioclic : exemple d'une prise en charge thérapeutique d'une infection urinaire masculine documentée (154).....	87
Figure 13 : Présentation du kit d'outils sur le BUA téléchargeable, proposé par AntibioEst dans le cadre de la mission nationale SPARES (161).....	90

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : taux globaux d'infections post-opératoires dans les hôpitaux A, B et C et performances de la prédiction d'infections post-opératoires de l'outil PERISCOPE à 7 et à 30 jours après intervention chirurgicale	81
--	----

TABLE DES ANNEXES

Annexe 1: Tableau récapitulatif des outils numériques d'aide au diagnostic au laboratoire de microbiologie, disponibles en France	106
Annexe 2 : Tableau récapitulatif des outils numériques d'aide dans la prise en charge du risque infectieux et d'aide à la prescription, disponibles en France.....	107

TABLE DES ABRÉVIATIONS

ABRI	: <i>Acinetobacter baumannii</i> résistant à l'Imipénème
AIDMAN	: AI-based object detection system for malaria diagnosis
AM	: Assurance Maladie
ANS	: Agence du numérique en santé
APAS	: Automate Place Assessment System
APSS	: Antimicrobial Prescription Surveillance System
ARS	: Agence Régionale de Santé
AUROC	: Aire sous la courbe ROC
BD	: Becton Dickinson
BHRe	: Bactéries hautement résistantes émergentes
BLSE	: Bêta-lactamase à spectre étendu
BMR	: Bactéries multi-résistantes
BUA	: Bon usage des antibiotiques
C3G	: Céphalosporine de 3 ^{ème} génération
CAD	: Conception assistée par ordinateur
CCLIN	: Centre de Coordination de la Lutte contre les Infections Nosocomiales
CDC	: Centers for Disease Control
CDSS	: Clinical Decision Support System
CE	: Conformité européenne
CH	: Centre hospitalier
CHU	: Centre hospitalier universitaire
CHRU	: Centre hospitalier régional universitaire
CI-SIS	: Cadre d'Interopérabilité des Systèmes d'Information de Santé
CLIN	: Comités de lutte contre les infections nosocomiales
CMG	: Collège de médecine générale
CMI	: Concentration minimale inhibitrice
CMIT	: Collège des universitaires des Maladies Infectieuses et Tropicales
CNIL	: Commission nationale de l'informatique et des libertés
CNP-MIT	: Conseil National Professionnel en Maladies Infectieuses et Tropicales
COREB	: Coordination opérationnelle du risque épidémique et biologique
CPias	: Centre de Prévention des Infections Associées aux Soins
CRA_{tb}	: Centres Régionaux en Antibiothérapie
CRP	: Protéine C-Réactive

DDJ : Dose définie journalière

DME : Dossier médical électronique

DNS : Délégation au numérique en santé

DPI : Dossier patient informatisé

EBLSE : Entérobactérie productrice de bêta-lactamase à spectre étendu

ECCMID : European Congress of Clinical Microbiology and Infection Diseases

EDS : Entrepôts de données de santé

EEDS : Espace européen des données de santé

EIAS : Événement indésirable associé aux soins

EIGS : Événement indésirable grave associé aux soins

EMA : Équipes multidisciplinaires en antibiothérapie

ENEIS : Enquête nationale sur les événements indésirables graves associés aux soins

ENP : Enquête nationale de prévalence

EOH : Équipes opérationnelles d'hygiène

EPC : Entérobactérie productrice de carbapénémase

ERG : *Enterococcus faecium* résistant aux glycopeptides

ERV : *Enterococcus faecium* résistant à la Vancomycine

FC : Fréquence cardiaque

FDA : Food and Drug Administration

FiO2 : Fraction d'oxygène inspirée

FR : Fréquence respiratoire

GB : Globules blancs

GID : Groupe infectiologie digitale

GPIP : Groupe de Pathologie Infectieuse Pédiatrique

HAS : Haute Autorité de Santé

HCSP : Haut Conseil de Santé Publique

HDS : Hébergeur de données de santé

HELICS : Hospitals in Europe Link for Infection Control through Surveillance

HELP : Health Evaluation through Logical Processing

IA : Intelligence artificielle

IAS : Infection associée aux soins

INS : Identité nationale de santé

INR : International Normalized Ratio

JH : Journée d'hospitalisation

JNI : Journées nationales d'infectiologie

LLM : Large language models

LUMC : Leiden University Medical Center

NEWS : National Early Warning Score

NHS : National Health Service

NNIS : National Nosocomial Infections Surveillance System

NP : Numération plaquettaire

MATIS : Mission nationale d'appui transversal aux actions de prévention des infections associées aux soins

MEWS : Modified Early Warning Score

OMS : Organisation mondiale de la santé

ONG : Organisation non gouvernementale

PAD : Pression artérielle diastolique

PAS : Pression artérielle systolique

PCR : Polymerase Chain Reaction

PGSSI-S : Politique générale de sécurité des systèmes d'information de santé

POC-IT : Point-of-care information technology

PRI : Prévention du risque infectieux

qSOFA : quick-SOFA

RAISIN : Réseau d'alerte, d'investigation et de surveillance des infections nosocomiales

RéPIA : Réseau de Prévention des Infections et de l'Antibiorésistance

RGPD : Règlement Général sur la Protection des Données

ROC : Receiver Operating Characteristic

SADC : Système d'aide à la décision clinique

SARM : *Staphylococcus aureus* résistant à la méticilline

SF2H : Société Française d'Hygiène Hospitalière

SFM : Société Française de Microbiologie

SIL : Système d'information de laboratoire

SIRS : Syndrome de réponse inflammatoire systémique

SO2 : Saturation en oxygène

SOFA : Sepsis-related Organ Failure Assessment

SPARES : Surveillance et Prévention de l'AntibioRésistance en Établissement de Santé

SPF : Santé publique France

SPIADI : Surveillance et prévention des infections associés aux dispositifs invasifs

SPILF : Société de pathologie infectieuse de langue française

TDR : Test de diagnostic rapide

TROD : Test rapide d'orientation diagnostique

UE : Union Européenne

UFC : Unité formant colonies

UGRI : Unité de gestion du risque infectieux

VIH : Virus de l'immunodéficience humaine

VRS : Virus respiratoire syncytial

INTRODUCTION

Le risque infectieux demeure une préoccupation majeure malgré les progrès considérables réalisés au cours des dernières années en matière de prévention, de diagnostic et de traitement des maladies infectieuses. L'augmentation préoccupante de l'antibiorésistance, l'émergence de nouveaux agents pathogènes et la mondialisation des échanges, nous obligent à maintenir une vigilance élevée vis-à-vis du risque infectieux, aussi bien dans la population générale qu'au sein des établissements de santé. L'antibiorésistance est considérée par l'organisation mondiale de la santé (OMS) comme l'une des principales menaces pour la santé mondiale, et est fréquemment qualifiée de « pandémie silencieuse », en raison de son impact croissant sur la morbi-mortalité et les systèmes de soins (1).

Face à ces enjeux, la lutte contre le risque infectieux s'organise à différents niveaux incluant la surveillance épidémiologique, la détection précoce des événements infectieux, la maîtrise des épisodes épidémiques, le bon usage des anti-infectieux ainsi que les actions de prévention associées.

En témoigne la stratégie nationale de prévention des infections et de l'antibiorésistance prolongée jusqu'à 2027, qui repose notamment sur la prévention et le contrôle des infections associées aux soins (IAS). Sa mise en œuvre mobilise de nombreux acteurs institutionnels, parmi lesquels Santé publique France (SPF), les agences régionales de santé (ARS), les centres d'appui pour la prévention des infections associées aux soins (CPias) et les centres régionaux en antibiothérapie (CRAtb) (2). Dans sa feuille de route interministérielle 2024-2034 sur l'antibiorésistance, le gouvernement français réaffirme sa volonté de renforcer l'approche « One health », englobant santé humaine, animale et environnementale (3). Cette stratégie s'inscrit dans un contexte où les tensions en ressources humaines au sein du système de santé se font ressentir de manière croissante, tandis que les besoins en termes de prévention, de surveillance et de prise en charge des infections ne cessent d'augmenter. Ces enjeux conduisent les pouvoirs publics à promouvoir des solutions innovantes permettant de gagner en efficience au sein des organisations de soins. Dans une volonté croissante des professionnels de santé d'adopter une posture proactive, les outils numériques apparaissent comme des leviers essentiels pour

pallier le manque de ressources en matière de prévention et de surveillance du risque infectieux. Ils interviennent à différents niveaux du parcours de soins notamment dans la surveillance épidémiologique, le signalement des infections, l'aide à la décision clinique, le suivi microbiologique ou encore l'optimisation du bon usage des anti-infectieux. Les outils numériques contribuent également à améliorer la circulation de l'information entre les professionnels de santé, les établissements et les autorités sanitaires, permettant un signalement plus rapide et une meilleure réactivité face aux événements infectieux. Parmi ces dispositifs, l'outil national e-SIN (signalement externe des infections associées aux soins) constitue un exemple emblématique de numérisation de la gestion du risque infectieux, permettant une circulation plus rapide de l'information entre les établissements de santé et les différents acteurs institutionnels (4).

En parallèle, la transformation du système de santé vers l'utilisation croissante du numérique place désormais le dossier patient informatisé (DPI) au cœur de l'exercice hospitalier et des démarches d'infectiovigilance. Le développement de l'intelligence artificielle (IA), de l'exploitation des entrepôts de données de santé, ou encore des outils automatisés de surveillance, ouvrent de nouvelles perspectives.

Dans ce contexte, l'objectif de ce travail est d'identifier, de décrire et d'analyser les principaux outils numériques actuellement disponibles en France pour l'aide au diagnostic infectieux, l'aide à la décision clinique, l'aide à la prescription d'antimicrobiens et à la surveillance du risque infectieux. Cette analyse permettra de mieux comprendre leur place dans l'organisation du système de santé, ainsi que les limites et perspectives associées à leur déploiement.

I. ENJEUX AUTOUR DU RISQUE INFECTIEUX

1. Le risque infectieux à l'hôpital : infections nosocomiales et sepsis

1.1 Infections nosocomiales

1.1.1 Définition et origines

Les infections nosocomiales sont des infections contractées dans l'enceinte d'un établissement de santé. Le délai retenu pour parler d'infection nosocomiale est de 48 heures : si l'infection était absente à l'admission du patient, et qu'elle se déclare au minimum après 48 heures d'hospitalisation ou un délai supérieur à la période d'incubation, on peut parler d'infection nosocomiale. Le délai maximal peut varier en fonction du motif d'hospitalisation et des soins prodigués pendant celle-ci : si le patient a subi une intervention chirurgicale une infection nosocomiale peut être suspectée jusqu'à 30 jours après l'intervention, même si le patient est rentré à domicile. Si une prothèse ou un implant a été mis en place chez le patient le délai peut s'allonger jusqu'à un an après la pose (5,6).

Les causes peuvent être de différentes natures :

- liées à une épidémie dans l'établissement comme la grippe, le COVID-19, le Virus Respiratoire Syncytial (VRS), la coqueluche...
- associées aux soins, via une transmission manuportée par les équipes médicales ou les actes médicaux
- liées à la contamination de l'environnement hospitalier par le matériel, l'air, ou encore l'eau (6,7).

Le risque infectieux est influencé par de nombreux facteurs comme l'âge du patient, la présence de comorbidités, les traitements reçus, en particulier les traitements immunosuppresseurs ou encore la prise d'antibiotiques qui déséquilibrent la flore. S'y ajoutent la réalisation d'actes plus ou moins invasifs comme un sondage urinaire, une pose de cathéter, une ventilation artificielle, ou la réalisation d'un acte chirurgical (5,8). Durant une hospitalisation il existe un risque de colonisation par des bactéries multi-résistantes (BMR) ou hautement résistantes émergentes (BHRe), sans infection ni symptômes associés. Même si le patient est porteur il peut transmettre la bactérie résistante, qui elle-même peut être à l'origine d'une infection chez un autre patient à risque : c'est ce qu'on nomme le risque de transmission croisée entre deux individus (9,10).

1.1.2 Épidémiologie en France

Pour introduire les données épidémiologiques des infections nosocomiales en France, il faut noter qu'au niveau mondial environ un patient sur dix contracte une infection nosocomiale au cours d'une hospitalisation (11). Le contraste est marqué par les moyens économiques et le niveau de vie des pays. La prévalence des infections nosocomiales est plus élevée dans les pays à faibles revenus ou à revenus intermédiaires (12). Elle se situe aux alentours de 15% dans des pays d'Amérique latine (Brésil, Mexique, Colombie...), d'Asie du Sud (Inde, Népal, Vietnam...) ou d'Afrique subsaharienne (Sénégal, Mali...), mais elle peut atteindre jusqu'à 20% dans certains de ces pays. Concernant les pays à revenus élevés la prévalence est aux alentours de 7% (13). Ces pays comme la France, le Royaume-Uni, les États-Unis, le Canada ou encore le Japon possèdent des systèmes de surveillance et des programmes de prévention bien établis (12).

Les infections nosocomiales seraient la cause d'environ 3 500 décès chaque année en France (14,15). En 2022 un patient hospitalisé sur dix-huit présentait au moins une infection nosocomiale et cela concernait jusqu'à un patient sur quatre en service de réanimation. Ces données sont issues de l'enquête nationale de prévalence (ENP) 2022 des infections nosocomiales et des traitements anti-infectieux en établissement de santé (16).

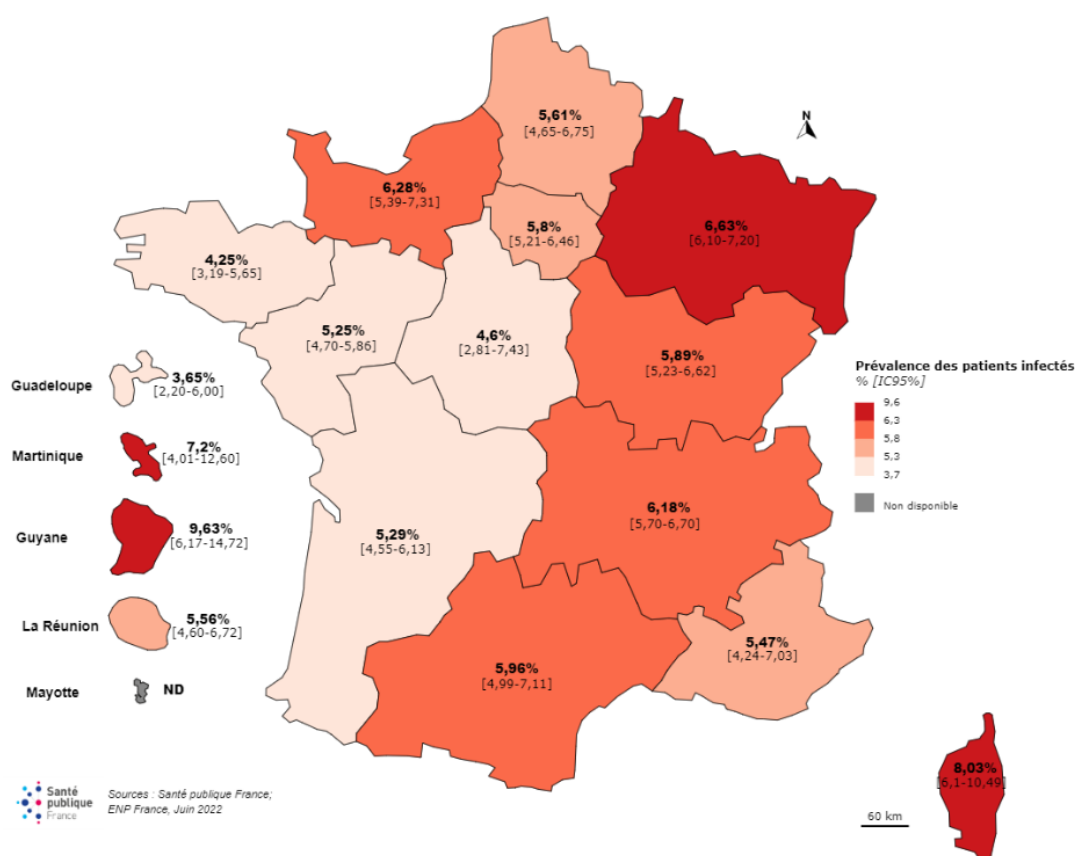
La prévalence des infections nosocomiales, qui diminuait régulièrement avant 2020, a connu une augmentation notable à partir de cette date, profondément influencée par la pandémie de SARS-CoV-2. Cette étude, menée auprès de 1 155 établissements de santé, a inclus plus de 150 000 patients.

Entre 2017 et 2022, la proportion de patients présentant une infection nosocomiale est passée de 4,98% à 5,71%. Environ la moitié de cette hausse est imputable aux infections nosocomiales à COVID-19. Toutefois, même après exclusion de ces cas, une augmentation persistante est observée, avec une prévalence atteignant 5,35% en 2022 (16).

Même si la France présente une prévalence d'infections nosocomiales relativement modérée par rapport à la moyenne mondiale des pays à revenu élevé qui est aux alentours de 7%, les IAS restent un problème majeur de santé publique avec une proportion non négligeable de sous-déclarations, et avec des variations selon les établissements et selon les régions territoriales.

En France métropolitaine, les taux les plus élevés étaient relevés en Corse (8,03%) et dans la région Grand Est (6,33%), tandis que la Bretagne présentait la prévalence la plus faible (4,55%). Dans les territoires ultramarins, les disparités apparaissaient encore plus prononcées, avec des prévalences allant de 3,65% en Guadeloupe à 9,63% en Guyane (16).

Figure 1: Prévalence des patients infectés, par région. ENP, France, 2022 (16)



La prévalence des IAS variait selon plusieurs critères hospitaliers :

- le type d'établissement : les structures publiques présentant des taux plus élevés que les établissements privés
- le type de séjour hospitalier : particulièrement élevée en service de réanimation (23,17%), tandis qu'elle demeurait très faible en obstétrique (0,82%)
- le service de médecine : les taux les plus élevés étaient observés en hématologie (24,92%) et en maladies infectieuses (12,47%).

Plusieurs facteurs de risques ont été mis en évidence : un âge supérieur à 65 ans, être porteur d'un dispositif invasif, avoir une affection engageant le pronostic vital à 1 ou 5 ans, avoir subi au moins une intervention chirurgicale depuis l'admission, avoir une affection maligne, ou encore être immunodéprimé. Lorsqu'un patient présentait au moins un de ces facteurs de risque, le risque d'infection était multiplié par 6,43 par rapport à un patient n'en présentant aucun. La prévalence des patients infectés au sein de la population présentant des facteurs de risque a augmenté entre 2017 et 2022, passant de 6,34% à 7,25%. Toutefois, une évolution comparable était également observée chez les patients ne présentant pas de facteurs de risque. Par ailleurs, les patients hospitalisés en 2022 présentaient un profil de risque infectieux plus marqué, caractérisé par une proportion accrue d'immunodépression, une utilisation plus fréquente de dispositifs invasifs à demeure, notamment les sondes urinaires, ainsi qu'un port plus répandu de cathéters.

Les types d'infections nosocomiales les plus couramment contractées lors d'une hospitalisation sont :

- Les infections urinaires, nombreuses mais rarement graves (avec une part relative de 28%)
- Les pneumonies (16,3%)
- Les infections du site opératoire (14,3%)
- Les bactériémies (12,1%).

Figure 2 : Évolution entre 2017 et 2022 de la prévalence des principaux sites infectieux. ENP, France, 2022 (16)

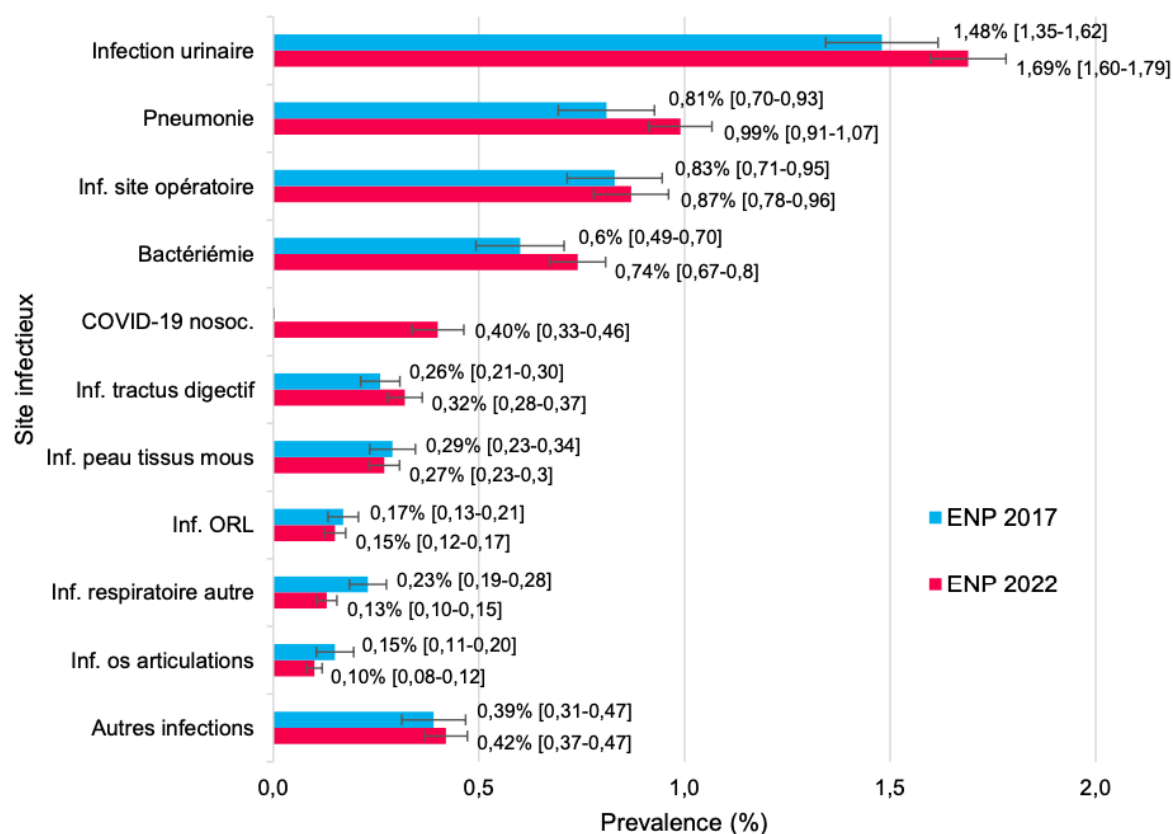
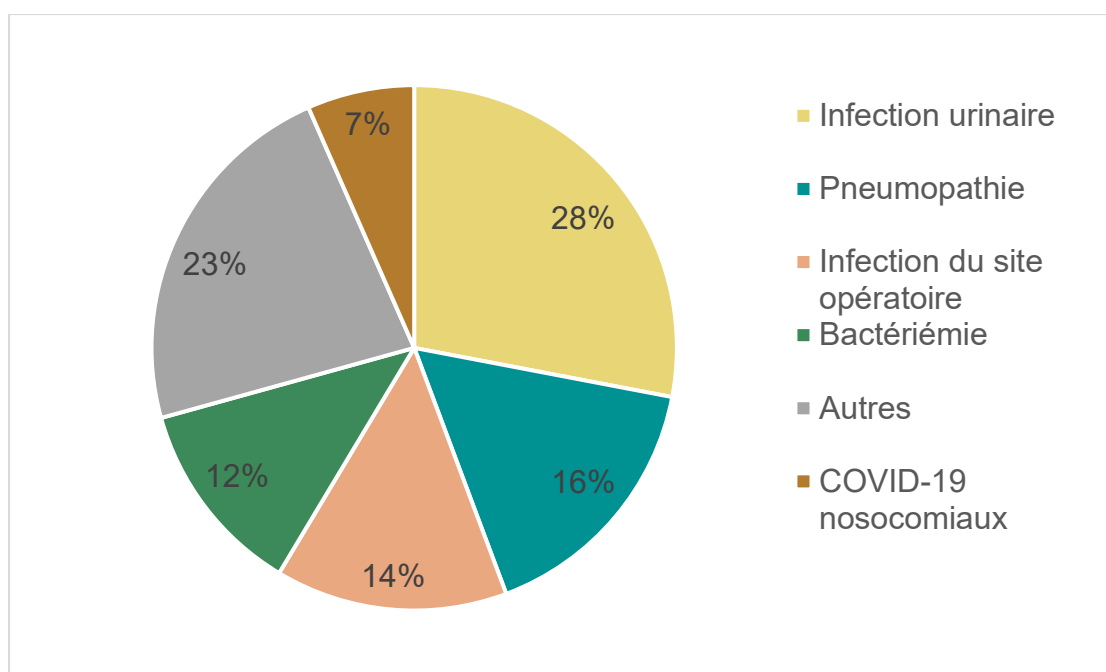


Figure 3 : Principales localisations d'infection nosocomiale par site infectieux selon les données de l'ENP 2022



Après exclusion du SARS-CoV-2 parmi les germes les plus incriminés dans les infections nosocomiales en 2022, les quatre principaux micro-organismes retrouvés par ordre décroissant sont : *E.coli*, *S.aureus*, *E.faecalis* et *P.aeruginosa* (16).

1.1.3 Moyens de prévention

i. Politiques de prévention

Sous l'impulsion des pouvoirs publics et du ministère de la Santé, les comités de lutte contre les infections nosocomiales (CLIN) ont été instaurés dans tous les établissements de santé publics et privés en 1988 en France, et sont en charge d'organiser la lutte contre celles-ci. Cela fait suite au décret n°88-657 du 6 mai 1988 relatif à l'organisation de la surveillance et de la prévention des infections nosocomiales dans les établissements d'hospitalisation publics et privés participant au service public hospitalier (17,18).

Leur rôle est de planifier et de coordonner les actions locales à mener dans la lutte contre les infections nosocomiales, en analysant la situation de l'établissement, les recommandations nationales et les situations régionales (17). Les différents membres des CLIN agissent en collaboration avec le directeur de l'établissement, la direction du service infirmier, le président de la commission médicale de l'établissement, et définissent la politique des équipes de gestion et de prévention du risque infectieux (PRI), et de l'ensemble des personnels médicaux et paramédicaux (7).

La France place la prévention des infections nosocomiales comme un enjeu mondial de santé publique dans sa stratégie nationale 2022-2027 et en fait une priorité. Cette stratégie est coordonnée au niveau national par le ministère des Solidarités et de la Santé, en collaboration avec les agences sanitaires comme SPF qui permet de piloter les missions nationales de prévention, mais également la Haute Autorité de Santé (HAS). Les structures d'expertise sanitaire comme le Haut Conseil de Santé Publique (HCSP) et les organisations professionnelles expertes comme la Société Française d'Hygiène Hospitalière (SF2H), le Conseil National Professionnel en Maladies Infectieuses et Tropicales (CNP-MIT) ou encore la Société Française de Microbiologie (SFM) travaillent étroitement avec les coordonnateurs nationaux (2).

À l'échelle régionale et interrégionale, les CPIas sont pilotés par les ARS et font partie du dispositif national de lutte contre les infections nosocomiales (2). Ils ont succédé aux Centres de Coordination de la lutte contre les Infections Nosocomiales (CCLIN) comme défini dans le décret n° 2017-129 du 3 février 2017 relatif à la prévention des infections associées aux soins (19). Ils jouent un rôle d'expertise régional, complémentaires des équipes de PRI, et apportent un appui technique, scientifique et pédagogique aux établissements, centralisent et analysent les données de surveillance, diffusent les recommandations nationales et participent à la gestion des crises sanitaires (19).

Les équipes opérationnelles d'hygiène (EOH), ou les cellules de gestion et prévention du risque infectieux (PRI), occupent une place centrale dans la prévention et la maîtrise du risque infectieux en milieu hospitalier. Elles assurent la surveillance des infections associées aux soins en collaboration avec les équipes du laboratoire de biologie médicale, le suivi des indicateurs épidémiologiques, ainsi que la détection et la gestion des situations épidémiques. En lien étroit également avec les services cliniques, elles coordonnent la mise en œuvre des actions de prévention et de contrôle adaptées aux risques identifiés (20).

Le rôle des équipes de PRI est transversal et repose sur une collaboration étroite avec l'ensemble des acteurs hospitaliers, notamment les équipes soignantes, les cliniciens, les microbiologistes et les pharmaciens (21). Elles participent activement à la formation et à la sensibilisation du personnel aux bonnes pratiques d'hygiène (22).

Par ailleurs, le contrôle de la qualité de l'environnement hospitalier, incluant la surveillance de l'eau, de l'air et des surfaces, ainsi que la gestion des dispositifs médicaux et des circuits du matériel en lien avec les services techniques appartient à la prévention du risque infectieux. À ce titre, les cellules dédiées à la gestion du risque infectieux contribuent à limiter le risque de transmission des agents infectieux par des voies environnementales (23).

En complément, elles interviennent dans la gestion des situations de crise, telles que les épidémies de bactéries multirésistantes ou les alertes liées à des virus émergents (18). Elles conduisent également des audits et évaluations des pratiques

professionnelles, par exemple l'observance de l'hygiène des mains, afin d'identifier les points de vigilance et d'améliorer les pratiques (23).

Leur rôle s'étend aussi au conseil institutionnel, en appui à la direction et à la commission médicale d'établissement, ainsi qu'à la participation aux comités qualité et sécurité des soins (23). Enfin, elles assurent une interface avec les structures externes, telles que les CPias, garantissant la cohérence des actions locales avec les recommandations et stratégies nationales (2).

ii. Organisation

L'activité de surveillance des infections nosocomiales repose sur différentes phases. Elle débute par l'identification des patients ayant développé une infection associée aux soins, et s'appuie sur la collecte de données épidémiologiques pertinentes, incluant la distribution des principaux facteurs de risque au sein de la population hospitalisée, qu'il s'agisse de patients infectés ou non. Les résultats de cette surveillance font l'objet d'une restitution auprès des équipes médicales et paramédicales, afin de permettre la mise en œuvre de mesures correctives et préventives adaptées (24).

La prévention des infections nosocomiales repose sur une analyse intégrée des caractéristiques individuelles des patients, prenant en compte l'âge, les comorbidités, les traitements en cours, le statut immunitaire et vaccinal, la colonisation par des micro-organismes, les antécédents d'hospitalisation ainsi que les expositions à risque, notamment les contacts avec d'autres patients (18).

La prévention des transmissions croisées manuportées et respiratoires repose sur la mise en place des précautions standard avec le respect de l'hygiène des mains par friction hydroalcoolique, le port d'équipements de protection individuelle tels que les masques, ainsi que la désinfection systématique du matériel entre chaque patient (23). Elles contribuent à la sécurité des soins tant pour le soignant que pour le soigné lors de la prise en charge d'un patient et sont à appliquer quel que soit le statut infectieux du patient (25). En complément des précautions standard d'autres mesures de prévention visent à limiter la transmission croisée des micro-organismes, notamment des BMR. Elles reposent sur le dépistage et la mise en place de précautions dites

complémentaires des patients porteurs et de leur entourage (10). À l'inverse, l'isolement protecteur est destiné à préserver les patients particulièrement vulnérables ou immunodéprimés, notamment les patients brûlés ou présentant une aplasie médullaire (18).

La réussite de ces stratégies repose sur l'implication de l'ensemble des acteurs de l'hôpital, incluant les professionnels de santé, les patients et les visiteurs, dans le respect des mesures d'hygiène et de prévention (18).

Outre la surveillance des infections nosocomiales, le deuxième point fondamental relève du signalement de celles-ci. Au sein d'un établissement de santé deux niveaux de signalement sont prévus :

- le signalement interne, propre à l'organisation du service d'hygiène hospitalière qui détecte, recense et réalise un suivi des épisodes infectieux de l'établissement. Toute infection nosocomiale ou suspicion doivent être signalées à la cellule d'hygiène (19,21).
- le signalement externe, obligatoire depuis 2001, qui se fait simultanément au CPias, à l'ARS et à SPF via le portail e-SIN (4). Le signalement externe concerne les infections nosocomiales dues à des pathogènes particuliers, les cas de décès lié à une infection nosocomiale, les épidémies ou encore une infection suspecte d'être liée à l'environnement. Les CPias procèdent à l'analyse des signalements et peuvent apporter leur expertise et une aide à l'établissement et à l'ARS pour la mise en œuvre des mesures de gestion. Ensuite les données de signalement sont analysées par SPF qui peut assurer un soutien secondaire aux CPias et peut amener à déclencher des alertes nationales (4,26,27).

En raison de la masse de données générées au laboratoire, celui-ci joue un rôle essentiel dans le dispositif de surveillance des infections nosocomiales ainsi que des épisodes épidémiques.

Le laboratoire de microbiologie alerte les équipes de soins et d'hygiène en cas d'isolement de germes critiques et fournit les données aux hygiénistes dans le cadre de cette surveillance (18). Les microbiologistes participent également activement à la surveillance nationale d'infections bactériennes quelles qu'elles soient en fournissant des données annuelles aux réseaux de surveillance (28). Cette surveillance

commence par l'extraction des données du système d'information de laboratoire (SIL) puis nécessite un traitement des données afin d'identifier et de regrouper les doublons épidémiologiques, comme la présence d'une même souche chez un patient, de constituer des dossiers microbiologiques chronologiques par patient et de réaliser des analyses statistiques (2,18,21,23). Il est également nécessaire de mentionner systématiquement la date d'admission du patient à l'hôpital sur chaque demande d'examen. Cette information est indispensable pour le suivi des infections dues à des micro-organismes non spécifiquement hospitaliers. Pour ces infections, le caractère nosocomial est en grande partie déterminé par le délai séparant l'entrée à l'hôpital de la survenue de l'infection. Enfin, le laboratoire établit une synthèse de l'ensemble des résultats microbiologiques de chaque secteur de soin, afin d'obtenir une vision de l'écologie microbienne (24).

Le recours aux outils numériques devient de plus en plus indispensable pour croiser l'ensemble des données et détecter rapidement les situations qui échapperaient à tout contrôle. La participation aux réseaux de surveillance gagnerait elle aussi à s'appuyer sur de nouvelles méthodes, qui permettrait une surveillance à la fois plus active et plus régulière des infections.

1.2 Sepsis

1.2.1 Définition

Le sepsis est la traduction d'une réponse inappropriée de l'organisme face à une infection, qu'elle soit bactérienne, virale, parasitaire ou fongique. Cet état de dysfonction immunitaire peut conduire à une dysfonction d'organes : cardiaque, pulmonaire, rénal, hépatique ou encore hématologique (29).

Si le sepsis n'est pas détecté et pris en charge rapidement cela peut entraîner un état de choc, appelé choc septique, une défaillance multiviscérale et peut conduire jusqu'au décès (29).

Le choc septique est défini par la présence d'un sepsis compliqué d'une défaillance hémodynamique nécessitant un traitement par vasopresseur pour maintenir une pression artérielle moyenne au moins égale à 65mmHg, et par la présence d'une lactatémie supérieure à 2 mmol/L (30).

La précocité du diagnostic est donc un point décisif pour la survie du patient et la réduction des séquelles (29). Le sepsis est défini par la présence, ou la forte suspicion, d'une infection associée à une dysfonction d'organe objectivée par une augmentation du score Sepsis-related Organ Failure Assessment (SOFA) d'au moins 2 points, sur un score maximal de 24 (30,31).

Plusieurs scores sont ainsi utilisés dans le dépistage du sepsis comme le quick-SOFA (qSOFA), le score de Syndrome de Réponse Inflammatoire Systémique (SIRS), le National Early Warning Score (NEWS) ou Modified Early Warning Score (MEWS) (32). Longtemps mis en avant dans le dépistage du sepsis, le qSOFA est basé sur trois critères : tension artérielle basse, respiration rapide, et confusion mentale (31). Un score supérieur ou égal à 2 nécessite une prise en charge urgente et un avis auprès d'un service de réanimation du fait du risque important de développer un sepsis (32). Les scores SIRS, MEWS, NEWS, qSOFA et SOFA répondent à des objectifs complémentaires dans la prise en charge du sepsis. Le SIRS et les scores d'alerte précoce (MEWS, NEWS) présentent une bonne sensibilité pour le dépistage initial, tandis que le qSOFA possède une valeur pronostique mais une sensibilité limitée (33). Les recommandations actuelles précisent que le score de qSOFA ne doit pas être utilisé comme seul outil diagnostic, et recommandent la mise en place de programmes

institutionnels de dépistage précoce du sepsis (31,34). La mesure des lactates sanguins doit être faite dès la suspicion de sepsis, et doit être contrôlée en cas d'élévation (31).

Une prise en charge hospitalière précoce et adaptée est indispensable afin de prévenir l'évolution vers un choc septique. Elle repose sur une approche multidimensionnelle associant des mesures de réanimation, une optimisation hémodynamique, le contrôle de l'infection par l'instauration d'une antibiothérapie précoce, ainsi que des soins respiratoires et une ventilation adaptée lorsque nécessaires (31). Dans l'objectif de contrôler rapidement la source infectieuse, une antibiothérapie probabiliste à large spectre doit être instaurée dans l'heure chez les patients en état de choc septique ou présentant une forte suspicion de sepsis, et dans un délai maximal de trois heures chez les patients sans choc mais avec une infection probable (34). Une désescalade thérapeutique est ensuite recommandée, avec adaptation de l'antibiothérapie aux données microbiologiques disponibles (34).

1.2.2 Épidémiologie et enjeux

Le sepsis et le choc septique constituent des enjeux majeurs de santé publique à l'échelle mondiale, touchant chaque année plusieurs millions de personnes. Selon l'Organisation mondiale de la santé, le sepsis figurait en 2017 parmi les principales causes de mortalité, avec environ 11 millions de décès, représentant près de 20 % de l'ensemble des décès mondiaux. En milieu hospitalier, il est estimé qu'environ 15 patients sur 1 000 développeront un sepsis au cours de leur prise en charge (29).

Certaines populations sont particulièrement vulnérables, notamment les nouveau-nés et les jeunes enfants, les femmes enceintes, les personnes âgées, les patients immunodéprimés ou atteints de maladies chroniques, ainsi que les individus vivant dans des conditions de précarité socio-économique (29).

L'incidence du sepsis et sa mortalité présentent d'importantes disparités géographiques, les taux les plus élevés étant observés dans les pays à plus faibles revenus (29).

À l'échelle européenne, le sepsis est impliqué dans près de 700 000 décès annuels, dont environ 57 000 en France (35). Le taux d'incidence standardisé du sepsis par hospitalisation était de l'ordre de 382 cas pour 100 000 habitants en 2022 en France, même si la pandémie de COVID-19 a eu un impact sur l'épidémiologie du sepsis en France en augmentant la proportion de sepsis d'étiologie virale associés à des infections à SARS-CoV-2, devenant une part significative des cas hospitalisés en 2020 et 2021 (36).

Au-delà de son impact humain, il représente également un enjeu économique, avec un coût moyen estimé à 16 000 € par hospitalisation, soulignant l'importance d'une prévention efficace et d'une prise en charge précoce et optimisée (35).

En exploitant de manière dynamique des données cliniques, biologiques et physiologiques issues du suivi hospitalier, l'intégration de nouvelles technologies comme les systèmes d'apprentissage automatique pourraient améliorer les performances du dépistage précoce du sepsis, faciliter l'identification des patients à haut risque et permettre une intervention thérapeutique plus rapide et ciblée. À terme, une telle approche pourrait contribuer à réduire la morbi-mortalité associée au sepsis, limiter la survenue de complications sévères et optimiser l'utilisation des ressources hospitalières, participant ainsi à une amélioration globale de la qualité et de l'efficacité des soins.

2. Lutte contre l'antibiorésistance et bon usage des antibiotiques

2.1 L'antibiorésistance

2.1.1 Définition

L'antibiorésistance peut se définir comme un moyen de défense des bactéries, suite à leur exposition à des antibiotiques, leur permettant d'évoluer et de développer des mécanismes de résistances. Les antibiotiques normalement actifs contre ces bactéries deviennent alors inefficaces.

L'antibiorésistance peut toucher aussi bien des bactéries pathogènes, des bactéries commensales de l'Homme, ou encore des bactéries animales ou environnementales.

Lorsqu'une bactérie dans un milieu donné a développé une résistance, elle peut la transmettre à sa descendance ou à d'autres espèces, ce qui engendre une expansion du phénomène (37).

Si une de ces bactéries est ensuite responsable d'une infection chez un patient donné, cela peut conduire à un échec thérapeutique et oblige à trouver des alternatives en utilisant des traitements, qui doivent rester tout aussi efficaces contre l'infection à traiter, mais qui peuvent être plus contraignants en termes de durée d'antibiothérapie ou encore d'effets indésirables. Dans les cas les plus compliqués, l'antibiorésistance peut conduire à des impasses thérapeutiques, c'est-à-dire des situations où il n'existe plus de traitement efficace pour traiter une infection à bactérie résistante (38).

Les causes de l'augmentation du nombre de bactéries résistantes sont l'exposition de manière prolongée, répétée, ou encore inadaptée aux antibiotiques, que ce soit en santé humaine ou animale. En d'autres termes, plus on consomme d'antibiotiques plus on augmente le risque de faire émerger des bactéries résistantes ce qui compromet l'efficacité ultérieure des antibiotiques que ce soit à l'échelle individuelle ou collective (38).

2.1.2 Description des espèces bactériennes et leurs résistances incriminées

Alors que les premières bactéries ayant acquis des résistances à la pénicilline sont découvertes en 1940, les « bactéries multirésistantes » ou BMR ont été mise en évidence à partir de 1970. C'est au début des années 2000 que le monde a vu apparaître une autre classe de bactéries résistantes : les BHRe ou bactéries hautement résistantes émergentes, dont l'augmentation est de plus en plus inquiétante (37).

En 2024, l'OMS a publié la liste des agents pathogènes prioritaires qui classe les bactéries résistantes aux antibiotiques selon 3 catégories de priorité : critique, élevée et moyenne (39).

Bactéries pathogènes critiques :

- *Acinetobacter baumannii* résistant à l'imipénème (ABRI)
- Entérobactéries résistantes aux céphalosporines de 3^{ème} génération (comprend les Entérobactéries productrices de bêta-lactamase à spectre étendu : EBLSE)
- Entérobactéries résistantes aux carbapénèmes (EPC)
- *Mycobacterium tuberculosis* résistant à la rifampicine

Bactéries pathogènes à priorité élevée :

- *Salmonella Typhi* et non typhoïdes résistants aux fluoroquinolones
- *Shigella spp.* résistant aux fluoroquinolones
- *Enterococcus faecium* résistant à la Vancomycine (ERV)
- *Pseudomonas aeruginosa* résistant aux carbapénèmes
- *Salmonella* non typhoïdique, résistant aux fluoroquinolones
- *Neisseria gonorrhoeae* résistant aux céphalosporines de 3^{ème} génération et/ou fluoroquinolones
- *Staphylococcus aureus* résistant à la Méricilline (SARM)

Bactéries pathogènes à priorité moyenne :

- *Streptococcus pyogenes* résistant aux macrolides
- *Streptococcus pneumoniae* résistant aux macrolides
- *Haemophilus influenzae* résistant à l'ampicilline
- *Streptococcus agalactiae* résistant à la pénicilline

2 groupes peuvent être cités selon les recommandations françaises :

- Les **bactéries multi-résistantes (BMR)** : bactéries qui ne sont sensibles qu'à un faible nombre d'antibiotiques du fait de l'accumulation de résistances naturelles et/ou acquises (40)
 - EBLSE, SARM, *Enterococcus faecalis* résistant à la Vancomycine, ABRI, *Pseudomonas aeruginosa* multi-résistant, mais d'autres bactéries peuvent être considérées comme BMR en fonction de l'épidémiologie locale.
- Les **bactéries hautement résistantes émergentes (BHRe)** : bactéries qui ne sont sensibles à seulement une ou deux classes d'antibiotiques et peuvent conduire rapidement à des impasses thérapeutiques (41)
 - Entérobactéries productrices de carbapénémases (EPC), *Enterococcus faecium* résistant aux glycopeptides (ERG).

2.1.3 État des lieux de la consommation d'antibiotiques en France

Les données sont exprimées en doses définies journalières (DDJ) et en journées d'hospitalisation (JH). La dose définie journalière correspond à une dose théorique d'un médicament, habituellement la dose recommandée pour une journée de traitement.

Alors qu'en 2023 le pays occupait la 5^{ème} place des pays européens consommant le plus d'antibiotiques, la France est passée au 2^{ème} rang en 2024, et représente 26,5 DDJ /1000 habitants /jour. Elle se situe derrière la Grèce qui consomme 29,5 DDJ /1000 habitants /jour, mais est bien au-dessus de la consommation moyenne globale qui s'élève à 20 DDJ /1000 habitants /jour en Europe (42).

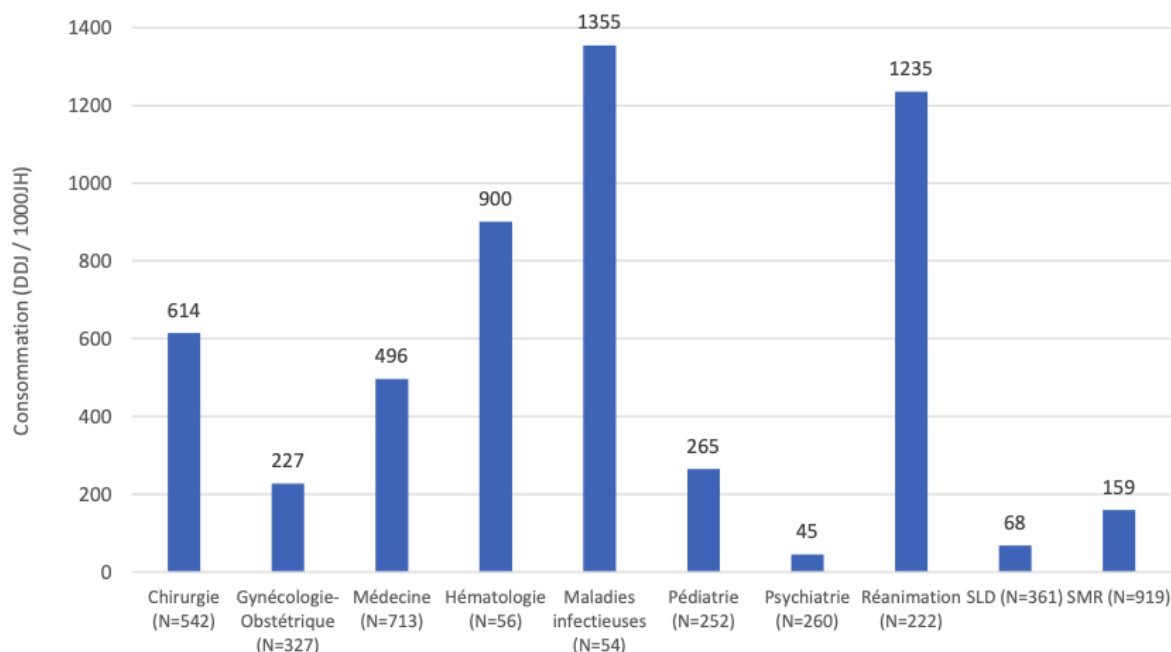
À l'échelle nationale, le Réseau de Prévention des Infections et de l'Antibiorésistance (RéPIA) piloté par SPF a publié les principaux résultats de l'année 2024 concernant la surveillance de la consommation d'antibiotiques et les résistances en établissements de santé (mission SPARES : surveillance et prévention de l'antibiorésistance en établissement de santé) (43).

Les données de 1 392 établissements de santé français ont été étudiées pour la surveillance de la consommation d'antibiotiques. La consommation d'antibiotiques globale est en constante augmentation sur la période 2019 à 2024, elle s'élève à 322 DDJ/1000 JH en 2024 ce qui représente une augmentation de 3,2% par rapport à l'année 2023. Cette augmentation concerne plusieurs classes d'antibiotiques comme l'amoxicilline, associée ou non à l'acide clavulanique, qui représente plus d'un tiers des DDJ. Les fluoroquinolones, les aminosides et les glycopeptides font exception parmi les antibiotiques avec leur consommation qui diminue.

L'inquiétude se porte également du côté des antibiotiques large spectre, leur consommation augmentant chaque année avec la consommation globale d'antibiotiques, passant de 33,8% en 2018 à 35,4% en 2024.

En 2024 les secteurs les plus consommateurs d'antibiotiques étaient les services de maladies infectieuses, réanimation et hématologie (42).

Figure 4 : Consommation totale d'antibiotiques en établissement de santé, par secteur d'activité clinique. Santé humaine, 2024 (42)



2.1.4 Épidémiologie des résistances bactériennes à l'échelle nationale

Pour contextualiser sur la résistance aux antibiotiques en France et comprendre l'ampleur du phénomène il faut noter que l'OMS a publié un rapport alertant en octobre 2025. En 2023 dans le monde, une infection bactérienne sur six était résistante aux traitements antibiotiques. Entre 2018 et 2023 la résistance aux antibiotiques a augmenté dans 40% des associations agent pathogène-antibiotique, avec une augmentation annuelle située entre 5 et 15%. Il faut garder à l'esprit que le risque de résistance aux antibiotiques varie en fonction des pays, les résistances aux antibiotiques étant plus élevées dans les régions d'Asie du Sud Est et de la Méditerranée orientale (44).

Même si la France figure parmi les plus gros pays consommateurs d'antibiotiques d'Europe, elle affiche des taux de résistances bactériennes inférieurs à certains de ses voisins comme l'Italie, la Bulgarie ou encore la Grèce. Concernant les souches d'*Escherichia coli* résistants aux céphalosporines de 3^{ème} génération (C3G) isolées d'infections invasives, l'incidence française se situe à 5,74 soit près de deux fois moins que la moyenne européenne de 11,03. Concernant les souches de *Klebsiella pneumoniae* résistantes aux carbapénèmes la France maintient une incidence très faible de 0,19, contre une moyenne de 3,51 pour l'Union Européenne (UE) (45).

Figure 5 : *Escherichia coli*. Pourcentage de souches invasives résistantes aux céphalosporines de 3ème generation (Céfotaxime/Ceftriaxone/Ceftazidime), par pays, EU/EEA, 2024 (45)

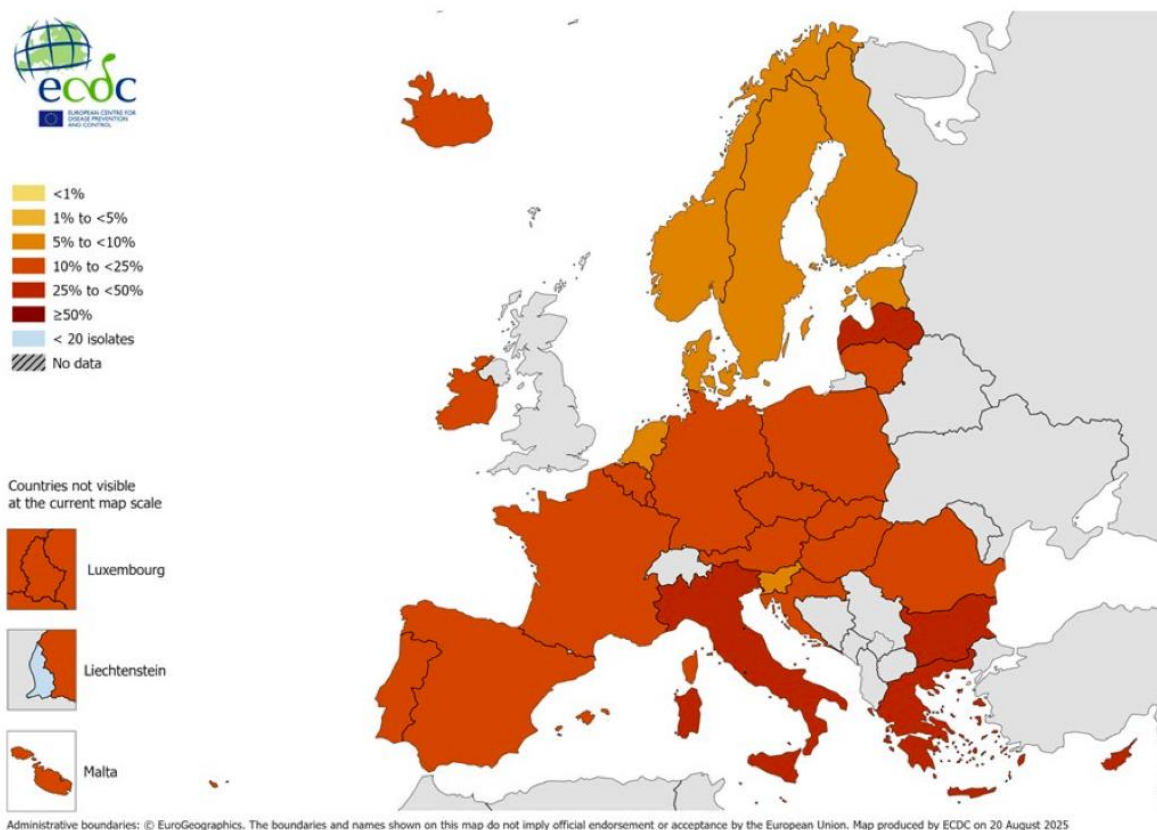
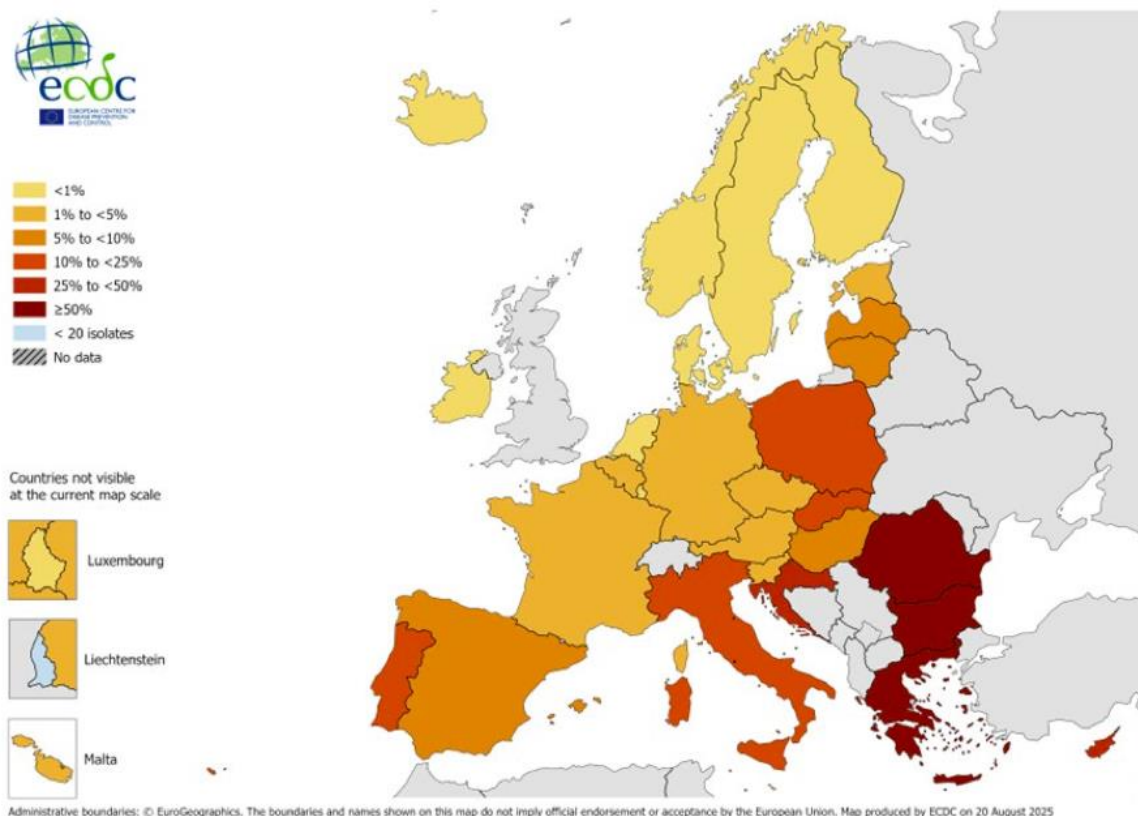


Figure 6 : *Klebsiella pneumoniae*. Pourcentage de souches invasives résistantes aux carbapénèmes (Imipénème/Méropénème), par pays, EU/EEA, 2024 (45)



Chaque année en France environ 4 500 décès sont liés à une bactérie ayant acquis une résistance aux antibiotiques et on estime que d'ici 2050, 238 000 personnes mourront des suites de l'antibiorésistance (37,38).

Lors de la dernière mission SPARES en 2024, l'étude des résistances bactériennes aux antibiotiques s'est faite sur 1 059 établissements de santé en collaboration avec 649 laboratoires de biologie médicale. Les résultats d'EBLSE et d'EPC ont été isolés de prélèvements à visée diagnostique (43).

- EBLSE :

Dans la classe des EBLSE : les espèces *E.coli*, *K.pneumoniae* et *Enterobacter cloacae* représentaient plus de 90% des EBLSE. Plus de la moitié des EBLSE étaient isolées de prélèvements urinaires, et plus de 10% étaient isolées d'hémocultures.

Parmi les 405 148 souches d'Entérobactéries avec une recherche de BLSE 8,2% étaient positives. La densité d'incidence s'élève à 0,58 infections à EBLSE pour 1 000 JH en 2024, et a augmenté par rapport à l'année 2019 dont l'incidence s'élevait à 0,53.

- EPC :

Les espèces les plus représentées sont : *K.pneumoniae*, *E.coli*, *E.cloacae* et *Citrobacter freundii*.

1 997 souches d'EPC ont été identifiées lors de cette étude, et 69% des cas précisait le type de carbapénémase impliquée. La distribution est la suivante par ordre décroissant : OXA-48 en grande majorité dans 60% des cas, suivi de NDM, VIM, KPC, et IMP et IMI dans moins de 1% des cas.

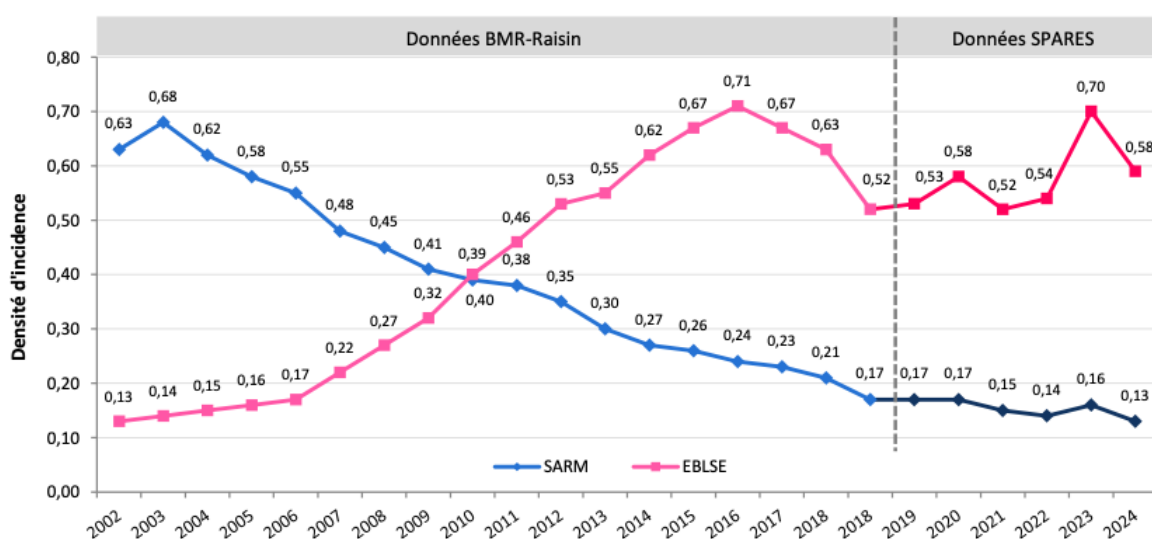
48,4% des EPC identifiées provenaient de prélèvements urinaires et 9,7% concernaient des hémocultures.

La densité d'incidence des EPC s'élève à 0,037 pour 1 000 JH alors qu'elle s'élevait à 0,035 pour 1 000 JH en 2023. Cette densité varie selon le secteur d'activité avec une part plus importante dans les services de réanimation.

- SARM :

Concernant l'espèce *Staphylococcus aureus*, 11,4% des 66 093 souches étaient résistantes à la méticilline (SARM). La densité d'incidence est de 0,13 infections à SARM pour 1 000 JH. Sur la période 2019 à 2024 cette densité d'incidence est en diminution.

Figure 7 : Évolution entre 2002 et 2024 de la densité d'incidence (nombre de souches pour 1000 JH) des SARM, des EBLSE (nombre d'établissements participants variable chaque année, changement de méthode de surveillance en 2018, recueil agrégé en 2023) (43)



2.2 Définition bon usage des antibiotiques

Dans un contexte où la consommation d'antibiotiques générale et le nombre de résistances bactériennes sont en constante augmentation, les enjeux se sont tournés vers une politique de « bon usage des antibiotiques » (BUA).

La multidisciplinarité est au cœur du bon usage : infectiologues, pharmaciens, microbiologistes et cliniciens agissent étroitement afin d'optimiser l'usage des antibiotiques.

Des réflexions sur les durées idéales des traitements antibiotiques ont émergé dans le but de réduire la consommation et le risque de résistances engendré par leur utilisation, tout comme la volonté de réduire au maximum de l'utilisation des

antibiotiques lorsqu'ils ne sont pas nécessaires. Le projet étant tourné vers l'amélioration de la qualité des prescriptions des antibiotiques comme le souligne la stratégie nationale de prévention des infections et de l'antibiorésistance prolongée jusqu'en 2027 (2).

Un ensemble de mesures se sont développées à l'échelle nationale pour promouvoir ce bon usage : nouvelles recommandations et mises à jour régulières, guides de prescription à destination des médecins. Des fiches-mémo ont été diffusées par la HAS, élaborées en partenariat avec la Société de pathologie infectieuse de langue française (SPILF) et le Groupe de pathologie infectieuse pédiatrique (GPIP), et relues par le Collège de médecine générale (CMG) et les sociétés savantes concernées. Elles constituent une aide au choix et à la durée d'antibiothérapie, et sont mises à jour régulièrement grâce à ces différents acteurs (42,46).

D'autres structures sont engagées sur le sujet afin de prévenir les infections et l'antibiorésistance à l'échelle régionale comme les CRATb pilotés par les ARS. Il existe 16 CRATb en France et leurs missions sont centrées sur le BUA (42). Parmi elles, l'identification des priorités régionales, la coordination et l'animation de réseaux de professionnels de santé en charge de la mise en place des programmes de BUA, mais aussi l'évaluation et l'analyse des antibiothérapies (47). Ces missions sont exercées grâce à des équipes multidisciplinaires comme les équipes multidisciplinaires en antibiothérapie (EMA) et les référents en antibiothérapie, et sont en lien avec les laboratoires de biologie médicale (2,48).

Les CRATb agissent avec les CPias, en charge de mettre en œuvre la politique nationale de prévention des infections nosocomiales et associées aux soins, ainsi que de contribuer à la maîtrise de l'antibiorésistance (42).

Tous ces acteurs agissent avec des liens étroits et à différentes échelles pour un effet bénéfique sur les résistances, la morbidité, la mortalité et les coûts en milieu hospitalier et en médecine de ville.

2.3 Problématiques actuelles

Si l'augmentation de l'antibiorésistance continue, en 2050, les infections à bactéries résistantes pourraient devenir la 1^{ère} cause de mortalité au monde (3,37).

Cela en fait un problème universel : l'OMS a adapté le projet « One health » ou « Une seule santé » qui est une action coordonnée associant santé humaine, animale et environnementale (49). Cette politique résulte de la nécessité de prévenir et de détecter les infections silencieuses dans le but de préserver l'efficacité des antibiotiques (3).

Face à l'augmentation continue de l'antibiorésistance en France les pouvoirs publics ont engagé une politique visant à structurer et mobiliser les ressources existantes afin de consolider la mise en œuvre de l'approche « Une seule santé ». La feuille de route interministérielle 2024-2034 favorise la coordination, le pilotage et l'évaluation des actions transversales, tout en assurant leur cohérence avec les dispositifs sectoriels existants, afin d'optimiser l'efficacité globale de la lutte contre l'antibiorésistance (3).

Sur le plan des données humaines et des méthodes de détection, la demande croissante de solutions de surveillance peut être appréhendée grâce au développement d'outils numériques. Cela fait suite à la nécessité de croiser rapidement plusieurs données, de les interpréter et de les mettre à disposition sous une forme accessible aux acteurs des établissements hospitaliers, afin de faciliter l'action de chacun dans cette démarche de lutte et prévention contre l'antibiorésistance.

La surveillance est un élément clé de la lutte contre l'antibiorésistance : elle permet d'obtenir une dynamique des tendances afin d'agir le plus précocement possible pour limiter la transmission et l'expansion des résistances bactériennes.

Une fois de plus, le besoin de nouveaux outils est un point clé dans la prise en charge du risque infectieux à l'hôpital.

3. Effets indésirables en milieu hospitalier et prévention

3.1 Définition et prévention

La iatrogénie hospitalière désigne la survenue d'un événement indésirable imputable à la prise en charge médicale ou soignante d'un patient en milieu hospitalier, qu'il soit lié à des actes diagnostiques, thérapeutiques ou à l'organisation des soins, et indépendamment de l'évolution naturelle de la pathologie initiale. Elle peut être évitable ou non, et survenir de manière précoce ou tardive, on parle également d'événement indésirable associé aux soins (EIAS) (50,51). Lorsque les conséquences entraînent la mise en jeu du pronostic vital, la survenue d'un déficit fonctionnel permanent, une malformation ou le décès, on parle d'événement indésirable grave associé aux soins (EIGS) (50).

La sécurité du patient se définit comme l'ensemble des mesures visant à prévenir les préjudices évitables. Elle a pour finalité de s'assurer que la prise en charge médicale reste favorable en termes de rapport bénéfice/risque. Dans une démarche d'amélioration de la qualité des soins, la gestion des risques et des événements indésirables associés aux soins, la sécurité du patient est un enjeu majeur de santé publique et concerne tous les professionnels de santé (50). Les préjudices subis par les patients peuvent être de différentes natures : les préjudices liés aux médicaments concernent les erreurs de prescriptions ou les effets indésirables imputables aux médicaments : c'est la iatrogénie médicamenteuse. D'autres préjudices peuvent être relevés comme les complications des actes invasifs ou chirurgicaux, ainsi que les infections associées aux soins (52). Les défaillances organisationnelles, telles que les retards de prise en charge ou les défauts de coordination des soins, relèvent également de la iatrogénie hospitalière (53).

La prévention des EIAS repose avant tout sur la maîtrise du risque infectieux, grâce à la mise en œuvre des précautions standard et complémentaires, au contrôle rigoureux des dispositifs invasifs et à la sécurisation de l'environnement hospitalier (54). La surveillance et l'identification des infections associées aux soins relèvent de l'infectiovigilance. Celle-ci comprend la déclaration des infections nosocomiales comme décrit précédemment, mais englobe également la déclaration des EIAS et des EIGS aux ARS (50,55).

La sécurisation du circuit du médicament constitue également un axe essentiel, en particulier pour la prévention de la iatrogénie médicamenteuse (54). L'implication des pharmaciens cliniciens au sein des services, l'usage de prescriptions informatisées et d'outils d'aide à la prescription, ainsi qu'une politique de BUA sont indispensables (3). En effet la prescription inappropriée d'antibiotiques peut conduire au développement de résistances à ceux-ci, ce qui constitue une forme d'effet secondaire et peut être préjudiciable pour le patient (56).

Les cellules de pharmacovigilance sont au cœur de la surveillance du circuit des médicaments en identifiant les surdosages, les mésusages, les erreurs médicamenteuses et en assurant le suivi des déclarations des effets indésirables (57).

3.2 Épidémiologie

Les EIAS constituent un problème majeur de santé publique car selon l'OMS environ 10% des patients hospitalisés dans les pays à revenus élevés et jusqu'à 15% des patients dans les pays à revenus plus faibles subissent un événement indésirable associé aux soins. Plus de la moitié de ces préjudices sont évitables, et près de la moitié seraient imputables à la iatrogénie médicamenteuse (58).

À l'échelle nationale, les principales données épidémiologiques sont issues de la 3^{ème} enquête nationale sur les événements indésirables graves associés aux soins (ENEIS) réalisée en 2019. Au total 56 établissements ont participé, incluant 4 825 séjours hospitaliers.

La densité d'incidence des EIGS était de 4,4 pour 1 000 journées d'hospitalisation (JH), en diminution par rapport aux 6,2 pour 1 000 JH observés en 2009. Cela représente entre 160 000 et 375 000 EIGS par an au cours d'un séjour hospitalier. Environ 33% des événements survenus pendant le séjour étaient jugés évitables.

Les principaux domaines de risques et causes identifiés étaient les actes invasifs, qui présentaient la densité incidente la plus forte, suivis des médicaments et dispositifs médicaux, et les infections associées aux soins. L'état de santé du patient et sa fragilité constituaient également des facteurs contributifs importants.

Enfin, l'enquête a révélé une sous-déclaration notable des EIGS, plus de la moitié d'entre eux n'ayant pas été signalés par les professionnels de santé (59).

Ces résultats soulignent que, malgré une diminution de l'incidence des événements indésirables graves, une part importante reste évitable et sous-déclarée. La complexité croissante des soins et la multiplicité des facteurs de risque rendent désormais nécessaire le recours à outils numériques et algorithmes prédictifs, capables de surveiller en temps réel les patients à risque, de détecter précocement les événements indésirables et d'optimiser les stratégies de prévention.

II. MÉTHODOLOGIE

Afin d'établir un état des lieux des outils numériques disponibles dans la prise en charge du risque infectieux en France, cette thèse repose sur des recherches bibliographiques approfondies. Ces recherches ont été réalisées à partir de bases de données scientifiques spécialisées telles que PubMed ou ScienceDirect, en sélectionnant des articles pertinents issus de revues internationales. Les mots clés utilisés au travers des recherches étaient « Clinical decision support systems (CDSS) », « Antimicrobial resistance », « Antimicrobial prescription », « Antibacterial agents », « Inappropriate prescribing », « Sepsis prediction », « Diagnostic tests », « Laboratory Automation », « Artificial Intelligence », « Machine learning », « France ». La description des outils ainsi que leurs modalités de fonctionnement ont été recueillies en consultant les sites internet des différentes sociétés proposant ces solutions numériques, ainsi que par des échanges directs avec certaines d'entre elles. Leurs positionnements et leurs évaluations ont été extraits de publications et de posters présentés lors de congrès nationaux et internationaux, tels que les Journées nationales d'infectiologie (JNI), les congrès de la SF2H et les congrès de l'ECCMID. Des informations ont également été obtenues à partir de publications de sociétés savantes nationales, notamment la SPILF ou la SF2H, ainsi que des communications réalisées par le Groupe Infectiologie Digitale (GID) de la SPILF.

III. OUTILS NUMÉRIQUES AUTOUR DU RISQUE INFECTIEUX

1. Numérique en santé et intelligence artificielle

1.1 Définitions

Le numérique en santé regroupe l'ensemble des outils et applications visant à améliorer la prévention, le dépistage et le diagnostic, ainsi que le suivi des patients, la coordination des soins, la recherche et le pilotage des politiques de santé. Dans l'objectif d'optimiser la prise en charge des patients et de fluidifier leur parcours de soins, les technologies numériques interviennent à différents niveaux du système de santé. Dans la pratique quotidienne des professionnels de santé, le numérique constitue un appui essentiel notamment par l'exploitation des dossiers médicaux électroniques, l'aide à la décision clinique, le développement de la télémédecine ou encore l'intégration des données issues d'objets connectés ou de dispositifs médicaux (60).

Les systèmes experts ont été les premiers systèmes d'aide à la décision clinique déployés (61,62). Un système expert intègre la connaissance sous forme de règles, définies à l'avance par un expert, et de faits. Il représente les connaissances avec un modèle « Si... Alors... », et il dispose d'un mécanisme d'inférence qui lui permet d'utiliser ses connaissances pour résoudre un problème (61). Il ne possède pas de mécanisme d'apprentissage mais a la possibilité d'expliquer son raisonnement facilement ce qui le rend transparent vis-à-vis de l'utilisateur.

De plus en plus développée ces dernières années l'**intelligence artificielle** (IA) représente un domaine scientifique dans lequel plusieurs outils peuvent être développés. D'après le parlement européen l'intelligence artificielle représente tout outil utilisé par une machine afin de reproduire des comportements liés aux humains, tels que le raisonnement, la planification et la créativité. Ainsi l'IA regroupe des systèmes qui apprennent à partir d'un grand volume de données et tendent à évoluer et s'améliorer de manière autonome (63).

On distingue plusieurs niveaux au sein de l'intelligence artificielle :

- *machine learning* ou l'**apprentissage automatique** est un sous-ensemble d'IA impliquant des algorithmes qui peuvent définir leurs propres règles à partir de

données, par le biais d'un entraînement et d'une amélioration itérative, sans programmation humaine explicite (64)

- le **réseau neuronal** est un système informatique inspiré des neurones des cerveaux biologiques. Il utilise une collection de nœuds (neurones artificiels) vaguement modélisés sur les neurones et leurs nombreuses interconnexions. Plusieurs entrées peuvent influencer la sortie d'un nœud, et la sortie d'un nœud peut agir comme une entrée pour plusieurs autres nœuds : le renforcement neuronal aboutit à une meilleure reconnaissance des schémas, une meilleure expertise et un meilleur apprentissage général (65,66)
- *deep learning* ou l'**apprentissage profond** est une branche de l'apprentissage automatique utilisant des réseaux de neurones artificiels et traitant d'énormes volumes de données complexes (65).

Au sein de l'apprentissage automatique on distingue quatre modèles :

- l'apprentissage supervisé avec lequel la machine apprend par l'exemple et se compose de paires de données d'entrée et de sortie, dans lesquelles la sortie est étiquetée avec la valeur souhaitée. Les données sont compilées et corrélées au fur et à mesure et, avec le temps, des similarités et des différences sont identifiées jusqu'à ce qu'il puisse répondre lui-même à la question
- l'apprentissage non supervisé fonctionne sans clé de réponse, la machine étudie les données d'entrée qui ne sont pas structurées et recherche des corrélations en se servant d'un certain volume de données accessibles, qu'on peut assimiler à de l'apprentissage par expérience
- l'apprentissage semi-supervisé est une solution envisageable lorsqu'un gros volume de données brutes et non structurées sont utilisées. Ce modèle insère de petits volumes de données étiquetées afin d'enrichir un ensemble de données non étiquetées. Les données étiquetées permettent ainsi au système d'avoir une longueur d'avance car l'algorithme invite la machine à analyser les données étiquetées afin de déterminer des corrélations qui pourront être appliquées aux données non étiquetées
- l'apprentissage par renforcement ne possède pas de clé de réponse comme l'apprentissage supervisé mais des actions, des règles ou des situations finales potentielles. Si le résultat voulu est binaire la machine peut apprendre par l'exemple, mais si le résultat est variable le système doit apprendre sur

l'expérience et la récompense, qui est programmée comme un élément que le système cherche à collecter (64,65).

Contrairement aux systèmes experts la qualité des résultats de systèmes basés sur l'IA dépend de la qualité des données qui lui sont accessibles. L'explicabilité du raisonnement interne peut être variable : on parle d'effet « boîte noire », et les modes opératoires peuvent être plus complexes à valider (62).

Ces IA font partie des IA dites « **génératives** » ou probabilistes qui fonctionnent avec des données d'entraînement, et peuvent fournir des réponses différentes pour une même question. Si l'IA manque d'informations elle cherche une réponse en utilisant ses propres connaissances, générer des hypothèses non documentées, ce qui crée une incertitude et un phénomène appelé « hallucinations ».

Une autre approche s'est développée : une IA dite « **déterministe** » qui repose sur des règles et des connaissances explicites. Contrairement à l'IA générative, l'IA déterministe fournit toujours la même réponse pour une question, ce qui permet une reproductibilité et garantit une certaine fiabilité (67).

Des outils informatiques d'aide au diagnostic et à la prise en charge clinique se sont également développés ces dernières années. Plus communément appelés **Clinical decision support system (CDSS)** ou **systèmes d'aide à la décision clinique (SADC)**, ils sont conçus pour faciliter la prestation de soins en apportant un soutien à la pratique médicale grâce aux connaissances cliniques, aux informations sur les patients et à d'autres types d'informations de santé pertinentes (68,69). Les SADC peuvent constituer une aide sur plusieurs versants de la prise en charge patient comme donner une orientation diagnostique, une proposition thérapeutique en fonction du contexte, ou encore un suivi adéquat à mettre en place. Tandis que les dossiers médicaux électroniques (DME) servent de référentiels de données, les SADC aident les cliniciens à formuler des recommandations personnalisées et adaptées au contexte, en comparant les données individuelles du patient aux recommandations fondées sur des données probantes (70).

1.2 Réglementations

L'utilisation des données de santé en France est soumise à un cadre réglementaire particulièrement strict visant à garantir la protection des patients tout en permettant l'exploitation de ces données à des fins de soins, de gestion et de recherche. Au niveau européen, le Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD) (UE 2016/679) classe les données de santé parmi les données à caractère personnel dites « sensibles », en raison du risque accru pour la vie privée des personnes concernées en cas de fuite de données. Ainsi, tout organisme collectant ou traitant des données de santé est soumis à ces dispositions, qu'il s'agisse d'établissements de santé publics ou privés, de laboratoires de biologie médicale, d'instituts de recherche, de professionnels de santé, d'entreprises développant des solutions numériques, d'hébergeurs de données de santé ou encore d'éditeurs de logiciels métiers (71). En complément du RGPD, la loi Informatique et Libertés de 1978 modifiée, ainsi que plusieurs dispositions du Code de la santé publique, encadrent les conditions de collecte, d'utilisation, de partage et de conservation de ces données au niveau national. Le secret médical, notamment consacré par l'article L1110-4 du Code de la santé publique, constitue un principe fondamental limitant l'accès aux informations de santé aux seuls professionnels habilités dans le cadre de la prise en charge du patient (72,73). En parallèle, la transformation numérique du système de santé français s'appuie sur une gouvernance nationale portée notamment par la délégation au numérique en santé (DNS), l'agence du numérique en santé (ANS), l'Assurance Maladie et le Gie SESAM-Vitale. Ces acteurs ont élaboré la doctrine du numérique en santé au sens de l'article L1470-1 du code de la santé publique, un cadre de référence national destiné à orienter et harmoniser le développement des services numériques en santé sur l'ensemble du territoire. Accessible en ligne, elle rassemble un ensemble de référentiels, de règles d'interopérabilité, d'exigences de sécurité et de recommandations organisationnelles visant à favoriser la cohérence, la qualité et la sécurité des outils numériques déployés dans le secteur sanitaire et médico-social. La doctrine du numérique en santé s'appuie également sur des référentiels d'interopérabilité tels que le Cadre d'Interopérabilité des Systèmes d'Information de Santé (CI-SIS) et l'Identité Nationale de Santé (INS), visant à sécuriser l'identification des patients et les échanges de données entre systèmes d'information. Elle s'adresse aux établissements de santé et aux structures médico-sociales, aux professionnels de santé, aux entreprises du numériques et aux institutions publiques. Dans ce cadre,

l'ANS a élaboré la politique générale de sécurité des systèmes d'information de santé (PGSSI-S), qui définit les exigences de sécurité applicables aux systèmes d'information de santé. Ce référentiel représente un cadre qui a pour but d'aider : les structures de santé dans la définition de leur politique de sécurité des systèmes d'information, les porteurs de projet dans l'identification des mesures de sécurité à mettre en œuvre, mais également les industriels dans l'intégration des exigences de cybersécurité lors du développement et de l'évolution de leurs solutions. La PGSSI-S participe ainsi à garantir la confidentialité, l'intégrité, la disponibilité et la traçabilité des données de santé tout au long de leur cycle de vie, conformément aux exigences réglementaires et aux enjeux croissants de cybersécurité dans le domaine de la santé. Par ailleurs, conformément aux dispositions du Code de la santé publique, tout hébergement externalisé de données de santé à caractère personnel doit être réalisé par un hébergeur certifié Hébergeur de Données de Santé (HDS), garantissant le respect d'exigences spécifiques en matière de sécurité, de confidentialité et de disponibilité des données.

Dans ce contexte les DPI, les logiciels métiers ou les SADC utilisés en milieu hospitalier, doivent respecter plusieurs principes fondamentaux du RGPD, notamment la minimisation des données collectées, la sécurisation et la traçabilité des accès, ainsi que le respect des droits des personnes concernées. Les mesures de sécurité mises en œuvre incluent notamment le contrôle des habilitations, l'authentification des utilisateurs, le chiffrement des données, la journalisation des accès ainsi que la protection contre les accès non autorisés. Les patients doivent être informés de l'utilisation de leurs données et disposer des droits prévus par la réglementation, notamment les droits d'information, d'accès, de rectification et, dans certains cas, d'opposition ou de limitation du traitement.

Bien que certains traitements réalisés à des fins de médecine préventive, de diagnostic médical, de prise en charge thérapeutique ou de gestion des soins par des professionnels soumis au secret médical bénéficient de bases légales spécifiques ne nécessitant pas d'autorisation préalable de la Commission nationale de l'informatique et des libertés (CNIL), ils demeurent soumis aux exigences du RGPD et peuvent faire l'objet de contrôles à tout moment par l'autorité de régulation. Par ailleurs, tous les établissements de santé publics et privés ont l'obligation de désigner un délégué à la

protection des données (Data Protection Officer), chargé d'accompagner l'organisme dans sa mise en conformité et de veiller au respect de la réglementation.

Dans le cadre du recours à un logiciel métier, à une plateforme numérique ou à un hébergeur de données de santé, l'établissement de santé agit généralement en qualité de responsable du traitement, tandis que le prestataire est qualifié de sous-traitant au sens du RGPD. Cette relation doit être formalisée par un contrat de sous-traitance, ou Data Processing Agreement, précisant notamment l'objet, la durée, la nature et les finalités du traitement, les catégories de données concernées ainsi que les obligations respectives des parties. Le sous-traitant est tenu de mettre en œuvre les mesures techniques et organisationnelles appropriées afin de garantir un niveau de sécurité adapté aux risques et doit notifier sans délai toute violation de données personnelles au responsable du traitement. Lorsque les traitements sont susceptibles d'engendrer un risque élevé pour les droits et libertés des personnes concernées, une analyse d'impact relative à la protection des données doit être réalisée préalablement à leur mise en œuvre. Cette démarche est particulièrement fréquente dans les établissements de santé en raison de la nature sensible des données traitées.

Enfin, les organismes exploitant des données de santé doivent tenir un registre des activités de traitement documentant l'ensemble des traitements réalisés, leurs finalités, les catégories de données concernées, les destinataires des informations et les mesures de sécurité associées (71).

En complément du RGPD, l'espace européen des données de santé (EEDS), adopté en mars 2025, est la première proposition d'espace européen commun spécifique aux données de santé. Ce règlement vise à favoriser la circulation sécurisée des données de santé au sein de l'UE, tout en garantissant un niveau élevé de protection des personnes, et une continuité de prise en charge. L'EEDS prévoit que les systèmes de dossiers médicaux électroniques mis sur le marché européen devront satisfaire à des exigences harmonisées, attestées par un marquage CE (Conformité Européenne), obtenu après auto-certification du fabricant. Son entrée en application est échelonnée dans le temps, entre 2 et 10 ans en fonction des dispositions. Dans cette dynamique d'harmonisation européenne du numérique en santé, le règlement européen sur l'intelligence artificielle (AI Act) vient renforcer le cadre de l'utilisation des systèmes d'IA dans l'UE (74). La majorité des SADC utilisant l'IA sont susceptibles d'être classés comme systèmes à « haut risque », en particulier lorsqu'ils participent

au diagnostic, à l'interprétation de données médicales ou biologiques, à l'orientation thérapeutique ou à la priorisation des patients. Les fabricants doivent démontrer la conformité de leurs solutions à un ensemble d'exigences réglementaires comprenant notamment la mise en place d'un système de gestion des risques, l'utilisation de données de qualité pour l'entraînement et la validation des algorithmes, accentuant les obligations de transparence, de supervision humaine, de traçabilité et d'évaluations régulières (75,76). Lorsque ces solutions relèvent du champ des dispositifs médicaux ou des dispositifs médicaux de diagnostic in vitro, leurs exigences de conformité doivent être articulées respectivement avec les règlements européens Medical Device Regulation (MDR UE 2017/745) et In Vitro Diagnostic Medical Device Regulation (IVDR UE 2017/746), incluant les procédures d'évaluation de conformité et l'obtention du marquage CE avant leur mise sur le marché européen (75).

Le marquage CE atteste de la conformité d'un produit aux exigences réglementaires européennes qui lui sont applicables. Dans le domaine du numérique en santé, il est notamment obligatoire pour les dispositifs médicaux logiciels relevant du règlement MDR (UE 2017/745), pour les logiciels de diagnostic in vitro relevant du règlement IVDR (UE 2017/746) ainsi que, dans certaines situations, pour les systèmes de dossiers médicaux électroniques soumis aux exigences du règlement relatif à l'EEDS. La qualification réglementaire dépend de la finalité revendiquée par le fabricant et du niveau d'influence du logiciel sur la prise de décision médicale (77).

2. Historique du numérique en milieu hospitalier

2.1 Contexte

Au sein d'un établissement hospitalier, le numérique, les systèmes experts et l'IA peuvent constituer une aide dans plusieurs domaines : dans le parcours administratif, le parcours de soins avec l'aide au diagnostic, l'optimisation thérapeutique, l'interprétation d'images médicales, la centralisation et la sécurisation des données, la sécurisation du circuit du médicament...(60)

L'approche numérique dans la prise en charge du risque infectieux à l'hôpital naît dans les années 1980 aux États-Unis avec l'apparition de systèmes de surveillance notamment le National Nosocomial Infections Surveillance System (NNIS). On parle

ici de raisonnement sur les données : c'est un programme collaboratif géré par les Centers for Disease Control (CDC), dont la mission est de recueillir des données nationales sur les infections contractées en milieu hospitalier (78). Les principaux objectifs de ce système sont d'évaluer l'importance globale des infections nosocomiales aux États-Unis, de suivre les tendances et de développer des stratégies visant à prévenir et contrôler les infections nosocomiales. Les données collectées permettent de calculer des taux d'infection spécifiques et de définir les priorités de leurs programmes de lutte (79).

En France c'est dans les années 1990 que le réseau d'alerte, d'investigation et de surveillance des infections nosocomiales (RAISIN) est mis en place (80). Il a joué un rôle clé dans le développement du numérique en santé, notamment par la structuration des données de surveillance, l'utilisation de systèmes d'information hospitaliers pour le recueil, la préfiguration des entrepôts de données de santé, et l'émergence d'outils de surveillance automatisée (78). Il a ainsi contribué à faire des données de soins un outil central de prévention et de gestion du risque sanitaire.

À l'échelle européenne le réseau HELICS (Hospitals in Europe Link for Infection Control through Surveillance) mis en place dans les années 2000 permet d'harmoniser et comparer la surveillance du risque infectieux entre les hôpitaux européens (81).

À l'époque de la mise en place de ces réseaux, la surveillance reposait principalement sur un recueil manuel des données, sur des audits périodiques et des bases de données dédiées, souvent isolées des systèmes cliniques (78).

Les approches actuelles ont évolué dans une logique de surveillance intégrée rendue possible par : les DPI, les systèmes d'information hospitaliers et les entrepôts de données de santé (EDS).

Les entrepôts de données de santé permettent de réunir un grand volume de données relatives à la prise en charge médicale du patient. Ils exploitent également des données socio-démographiques ou encore des registres de pathologies, et ces données sont destinées à être réutilisées à des fins de gestion, de contrôle et d'administration de l'activité d'un établissement de santé, ou encore dans le cadre de recherches ou d'études dans le domaine de la santé (82).

Les réseaux de surveillance se sont maintenant tournés vers une automatisation partielle ou complète des recueils, en plaçant le numérique au cœur de leur travail afin d'améliorer nettement la surveillance (83).

2.2 Premiers outils numériques dans la prise en charge infectieuse

C'est au début des années 1970 qu'on voit apparaître les premiers outils numériques utiles dans la gestion du risque infectieux : le premier système expert est développé par Edward H. Shortliffe à l'université de Stanford avec MYCIN (64,84).

Avec plus de 600 règles MYCIN était un système expert dédié au diagnostic d'infections bactériennes graves, notamment des bactériémies et des méningites, ainsi qu'à la prescription médicale. MYCIN interrogeait le médecin utilisateur à travers de nombreuses questions simples sur le contexte médical du patient et proposait à la fin une liste de bactéries potentiellement responsables de la clinique, classées en fonction de la probabilité (84). Il donnait également son niveau de confiance dans la probabilité de chaque diagnostic, son raisonnement, et le traitement antibiotique adapté en fonction du contexte (85).

Malgré le succès technique MYCIN n'a jamais été utilisé dans les services cliniques à cause des problématiques de responsabilité médicale, de réglementations, et de la politique hospitalière (84).

Une deuxième version nommée NEOMYCIN fut développée avec une volonté de créer un modèle psychologique de raisonnement diagnostic. La base de connaissance de MYCIN a été réorganisée et étendue pour être utilisée via un écran servant d'interface et permettre ainsi un dialogue structuré. Ce prototype fut uniquement utilisé par des étudiants en médecine, des internes ou à des fins de recherche en pédagogie médicale à l'université de Stanford. Le but était de disposer d'une base de connaissances et d'enseigner aux étudiants quand envisager une cause infectieuse pour une pathologie, et ouvrir l'esprit à des hypothèses concurrentes qui doivent être prises en compte dans le raisonnement (86).

Plusieurs systèmes experts restés des prototypes en aide à la décision clinique ont succédé à MYCIN. CADUCEUS, dérivé d'INTERNIST-I, fut développé dans les années 1980 à l'Université de Pittsburgh pour englober les connaissances

diagnostiques de plus de 700 maladies. La base de connaissance ne se limitait pas aux maladies infectieuses mais regroupait un pan plus large de la médecine comme la médecine interne, générale, hématologique ou encore auto-immune (87).

Contrairement à MYCIN et CADUCEUS, DXPLAIN™ est un système d'aide au diagnostic différentiel, qui a continué d'évoluer depuis son développement initial au milieu des années 1980 par le laboratoire d'informatique de l'hôpital général du Massachusetts. Il utilise un format interactif pour recueillir des informations cliniques, des données sur les probabilités brutes d'environ 5 000 manifestations cliniques (antécédents, résultats d'examen, données de laboratoire et d'imagerie) afin de générer, à partir des manifestations présentes chez un patient, un diagnostic différentiel classé par probabilité du diagnostic (88).

Dans un registre différent, Homer R. Warner à l'Université de l'Utah, a créé le système HELP (Health Evaluation through Logical Processing), un système d'information hospitalier intégré avec une aide à la décision associée. Le système d'information permet de collecter, de stocker, de traiter et de diffuser l'information organisée en différentes ressources. Il peut s'apparenter au DPI qui regroupe diverses données. Implanté en 1969, il fut utilisé au sein de l'Intermountain Health LDS Hospital à Salt Lake City afin de détecter des infections nosocomiales, de guider l'antibiothérapie, d'adapter les posologies, puis il a évolué afin de déclencher des alertes en cas d'allergies ou d'interactions, permettant ainsi de soutenir les programmes de BUA. À travers ce système d'alerte nous pouvons y voir les prémices des systèmes d'aides à la décision clinique modernes utilisés de nos jours (89,90).

3. État des lieux des outils numériques disponibles dans la prise en charge infectieuse

3.1 Outils d'aide au diagnostic infectieux

Au sein d'un établissement de santé le laboratoire de microbiologie se situe à l'interface de la pratique clinique et du diagnostic. Le temps étant le principal facteur limitant au diagnostic rendu au clinicien, le développement d'outils numériques apparaît particulièrement intéressant au sein d'un laboratoire (91).

3.1.1 Aide à la lecture des milieux de culture gélosés au laboratoire

Afin d'améliorer la qualité des résultats, l'uniformité des pratiques et la productivité des laboratoires, plusieurs solutions ont été déployées pour automatiser le traitement des échantillons dans les laboratoires de microbiologie.

L'entreprise bioMérieux propose le système **WASP®**, fabriqué par la société COPAN et initialement développé en 2008 (92), qui permet l'ensemencement automatisé des échantillons microbiologiques sur milieux gélosés. Ce système peut être couplé au système **WASPLab®** lancé en 2011, qui permet l'incubation et la lecture continue par imagerie numérique haute résolution des milieux de culture gélosé (93,94). La plateforme WASPLab® utilise le logiciel **PhenoMATRIX®**, intégrant plusieurs systèmes dont des algorithmes d'IA et des systèmes experts basés sur des règles. Le logiciel interprète les photos numériques à différents temps d'incubation et permet un tri des milieux de culture. Il permet le croisement des données démographiques des patients comme l'âge, le sexe, ou encore des paramètres comme la cytologie urinaire, extraits directement à partir du SIL afin de trier intelligemment les milieux de culture et diminuer ainsi la charge de travail des techniciens. PhenoMATRIX® PLUS permet le déchargement automatique des milieux de culture négatifs, le résultat validé est directement envoyé au SIL, alors qu'un milieu de culture positif sera ensuite revu par un technicien ou un biologiste afin de prendre la décision de poursuivre les analyses ou non. Grâce à la qualité des images numériques le système permet de réduire le temps d'incubation par rapport aux méthodes manuelles traditionnelles (93). Avant la mise en place, une validation de la performance est nécessaire. Le logiciel peut être paramétré avec des règles propres à chaque laboratoire, et des mises à jour sont

régulièrement faites. PhenoMATRIX a reçu l'approbation de l'UE avec le marquage CE (95), et plus récemment l'approbation de la Food and Drug Administration (FDA) comme dispositif médical de classe II début 2026. Le système est largement utilisé dans les laboratoires de microbiologie à travers le monde (96). En France, 109 plateaux techniques sont équipés du système WASP, ils comptent 17 chaînes automatisées (WASPLab) comprenant plusieurs centres hospitaliers (CH), notamment les Hospices Civils de Lyon, l'AP-HP, Centre hospitalier universitaire (CHU) de Poitiers ou encore le CH de Valenciennes (97–100).

Une étude menée sur 1 294 échantillons à Genève a comparé les résultats obtenus avec l'automatisation WASP couplé à WASPLab et le logiciel PhenoMATRIX, contre l'ensemencement par le système WASP puis une incubation traditionnelle et un diagnostic manuel des cultures. Concernant la détection des BMR, la sensibilité de détection a atteint 100% à 18 heures d'incubation pour la recherche de SARM, et 16 heures d'incubation pour les EBLSE. Pour les échantillons urinaires la durée d'incubation intermédiaire est de 18 heures même si la durée d'incubation finale reste fixée à 24 heures, en particulier pour les germes du genre *Candida* ou les uropathogènes émergents comme *Aerococcus urinae*. De même pour les prélèvements vaginaux l'incubation intermédiaire était de 16 heures et l'incubation optimale retenue était de 28 heures pour les germes du genre *Candida* ou encore *Gardnerella vaginalis*. L'impact majeur est la capacité à fournir des résultats plus rapidement, les techniciens de laboratoire pouvant effectuer certaines lectures des milieux plus tôt sans compromettre la performance diagnostique (101).

Concurrent de Copan, l'entreprise Becton Dickinson (BD) propose également des solutions d'automatisation avec la gamme **BD Kiestra™** qui comprend le module **InoqIA**, permettant l'ensemencement automatique des prélèvements microbiologiques sur milieux gélosés, et le module **ReadA** qui est un système d'incubation automatique et d'imagerie numérique à haut débit utilisant des systèmes experts et des algorithmes d'IA. Ces solutions sont classées comme dispositifs médicaux de diagnostic in vitro qui portent le marquage CE (102). La société BD a également obtenu la certification ISO/IEC 27001:2022 garantissant la conformité aux exigences spécifiques en matière de gestion de la sécurité de l'information (103).

Plusieurs centres hospitaliers français ont adopté la solution BD Kiestra, notamment les CHU d'Amiens-Picardie, de Grenoble Alpes et de Nantes (104–106).

Les deux solutions intègrent un module dédié à la visualisation d'images numériques sur écran ainsi qu'au stockage des fichiers, dans le but d'optimiser l'analyse des milieux de culture et la prise de décision : on parle de télébactériologie (107).

De nouvelles innovations permettant la lecture et l'interprétation des cultures bactériennes ont vu le jour comme le système **Automate Place Assessment System (APAS®)** de Clever Culture Systems développé en Suisse en 2015. C'est le premier système automatisé de microbiologie basé sur l'IA à recevoir l'approbation de la FDA aux États-Unis comme dispositif médical de classe II (64). Une fois l'image capturée l'IA analyse les détails des colonies : la présence d'une hémolyse alpha ou bêta ou les pigments spécifiques des colonies, puis elle estime le nombre de colonies présentes pour calculer la concentration bactérienne en unités formant colonies par millilitres (UFC/mL). Les résultats sont ensuite traités par des modules de décision basés sur les recommandations nationales et internationales permettant une adéquation des interprétations (108). Après plusieurs études cliniques notamment dans les établissements de Hennepin Healthcare à Minneapolis et l'hôpital St. Vincent de Melbourne avec des résultats montrant l'efficacité de l'instrument en pratique clinique, l'APAS Indépendance a reçu les autorisations réglementaires de la FDA et le marquage CE Européen, ainsi que la reconnaissance internationale lorsque des résultats ont été présentés lors de conférences de microbiologie telles que l'European Congress of Clinical Microbiology and Infection Diseases (ECCMID) en 2018 (108–111). Ce système est majoritairement utilisé pour les prélèvements urinaires mais il existe d'autres modules comme la détection du SARM sur milieux chromogènes. La solution met en avant un gain de temps considérable dans le rendu des résultats, ainsi qu'une réduction de la charge de travail pour le laboratoire de microbiologie (64). Ce système, plus récent que ses principaux concurrents, reste toutefois moins diffusé à l'échelle internationale. Il est actuellement commercialisé et utilisé dans des laboratoires situés notamment aux États-Unis, en Australie et en Suisse (111).

3.1.2 Prédiction de la résistance aux antibiotiques : analyse de génomes et de spectres MALDI-TOF bactériens

Un des défis émergents en microbiologie consiste à prédire la sensibilité aux antibiotiques à partir de données génomiques (91). Les méthodes conventionnelles reposant sur la culture bactérienne restent limitées par le temps nécessaire à la croissance des micro-organismes (64). Le développement de ces nouvelles approches pourrait ainsi réduire considérablement les délais de diagnostic et permettre une prise en charge thérapeutique plus rapide (112). Certaines techniques moléculaires permettant la détection de gènes de résistances comme le test Xpert® MRSA qui permet de détecter la mutation du gène *mecA* qui confère la résistance à la Méricilline chez *S.aureus*, le test Xpert® MTB/RIF qui permet de détecter la présence de mutation du gène *rpoB* qui confère la résistance à la rifampicine chez *M.tuberculosis complex*, ou encore le test BioFire® Filmarray®, qui selon le panel peut détecter la présence des gènes CTX-M chez les EBLSE ou encore les gènes configurant la production de carbapénémases. Ces PCR (Polymerase chain reaction) proposent des résultats rapides qui permettent une adaptation précoce de l'antibiothérapie. La prédiction phénotypique à partir du génotype semblait réalisable pour les espèces dont la résistance acquise reposait sur l'acquisition de gènes de résistance connus. Ces méthodes sont limitées aux mutations bien définies et connues, et sont limitées par la diversité et la complexité des mécanismes de résistance (112). Le séquençage complet du génome permettrait d'identifier l'ensemble des facteurs de résistance connus, dont ceux médiés par des mutations cibles ou des variants de gènes rares, et d'en identifier de nouveaux (113). Une étude a comparé deux modèles pour l'analyse du génome pour en déduire un profil de résistance aux antibiotiques chez les Entérobactéries. Elle compare d'un côté des systèmes experts basés sur des règles qui utilisent les profils de résistances codés pour chaque gène de résistance identifié à partir des connaissances, et deux algorithmes d'IA basés sur l'apprentissage automatique qui traitent tous les gènes de résistance de la même manière et réalisent des prédictions basées sur des modèles déduits des algorithmes. Les profils de résistance de 78 souches d'Entérobactéries ont été étudiés après séquençage complet du génome envers 12 antibiotiques, et ont été comparés aux résultats obtenus par diffusion de disques d'antibiotiques en milieux gélosés (les résultats rendus « intermédiaires » étaient comptés « résistants » pour comparaison). Les systèmes basés sur des règles utilisent des bases de données, et

ont obtenu 81 à 89% de concordance pour les 12 antibiotiques. Les algorithmes basés sur l'apprentissage automatique ont obtenu 89 à 90% de concordance avec la méthode par diffusion. Parmi ces résultats de fausses résistances et de fausses sensibilités ont été rendues par les différents modèles, ce qui montre que de nombreux paramètres inexpliqués affectent la connexion entre génotype et phénotype et rend difficile la validation de ces systèmes (113). De nouvelles approches basées sur l'apprentissage automatique permettraient de prédire des concentrations minimales inhibitrices (CMI) plutôt que des appréciations binaires classées sensible ou résistant. Ces modèles basés sur l'apprentissage supervisé ou l'utilisation de réseaux neuronaux sont entraînés sur des séquences génomiques complètes et des résultats de sensibilité aux antibiotiques correspondants retrouvés en laboratoire. Ces bases de données permettent aux algorithmes d'apprendre quels éléments du génome sont associés à des niveaux spécifiques de CMI (114).

La spectrométrie de masse a révolutionné le monde de la microbiologie en permettant une identification précise et rapide des espèces. La technologie utilisant l'ionisation par désorption laser assistée par matrice (MALDI) permet d'analyser les molécules présentes dans l'échantillon et d'obtenir leur rapport masse/charge pour générer des spectres en temps de vol (TOF) permettant l'identification du micro-organisme. Appliquée dès 1970 à l'identification des micro-organismes, la technologie MALDI-TOF représente la référence en termes d'identification des bactéries issues de prélèvements cliniques au laboratoire (115).

L'apprentissage automatique a été utilisé pour améliorer la précision de l'identification des espèces et étudier leurs caractéristiques pour prédire un profil de résistance aux antibiotiques. Les spectres MALDI-TOF des bactéries présentant des résistances aux antimicrobiens connues servent de référence pour déterminer le profil de résistance des futurs analyses. Ce modèle a été entraîné pour identifier une souche de SARM en moins de cinq minutes avec des taux de réussite d'environ 87% (116). Ces études prometteuses sont pour l'instant confrontées à plusieurs obstacles du fait du faible nombre d'études sur ce sujet, de la faible quantité d'échantillons testés, de la validation externe et de la reproductibilité (115).

Ces solutions ne sont pour l'instant pas utilisées en routine mais offrent de nouvelles perspectives pour l'étude des résistances bactériennes.

3.1.3 Diagnostic du paludisme par analyse d'images de frottis sanguins

Le test de diagnostic rapide (TDR), la PCR, et l'analyse microscopique du frottis sanguin à la recherche d'hématies parasitées, sont les méthodes recommandées pour diagnostiquer un cas de paludisme. L'analyse du frottis sanguin étant une méthode longue et nécessitant du personnel formé, plusieurs méthodes basées sur l'IA voient le jour afin d'automatiser ce diagnostic et remédier aux difficultés qui peuvent être rencontrées. Plusieurs modèles d'analyse d'images de frottis sanguins basés sur l'apprentissage profond ont été développés afin de détecter la présence d'hématies parasitées (117,118).

Le système **AIDMAN** (AI-based object detection system for malaria diagnosis) a été conçu par une équipe pluridisciplinaire de chercheurs en Chine, principalement issus d'institutions académiques et de laboratoires de recherche biologique. Dans ce système, le modèle YOLOv5 est utilisé pour détecter les cellules dans un frottis sanguin. Un modèle d'alignement attentionnel est ensuite appliqué pour la classification cellulaire puis un classificateur de réseau neuronal convolutif va classer les images d'hématies parasitées ou non. Le logiciel peut ensuite estimer la proportion d'hématies parasitées. Avec une sensibilité de 97% et une spécificité de 94% obtenues sur l'analyse de 64 frottis, AIDMAN a atteint une précision similaire à l'analyse microscopique de frottis manuelle et pourrait constituer une aide précieuse dans des régions isolées et à faible revenus. Ce logiciel s'avère prometteur avec un temps moyen de traitement par frottis d'une seconde ainsi qu'une adaptabilité aux étalements et colorations manuelles, l'outil ayant été entraîné pour gérer les impuretés de coloration et les chevauchements de cellules. Le logiciel doit encore faire ses preuves sur de plus grands volumes de frottis afin de pouvoir détecter le maximum de formes parasitaires en fonction de leurs morphologies (118).

Un microscope numérique couplé à des algorithmes d'analyse d'image assistée par ordinateur et d'apprentissage automatique baptisé **EasyScan Go** a été évalué sur la base des diapositives fournies par l'OMS pour évaluer les compétences des analyses microscopiques de frottis de paludisme. Un autre système semi-automatisé présenté comme une application Android nommée **Malaria Screener** permet la détection du paludisme à l'aide d'images issues de champs de vision en microscopie. Différents

modules le permettent : un module d'acquisition d'images, un module de détection des parasites et un module de gestion des données. Ce logiciel a été déployé par la bibliothèque nationale de médecine des instituts nationaux de santé aux États-Unis et a été testé dans deux hôpitaux au Soudan situés dans des zones d'endémie de *Plasmodium falciparum* et *P.vivax*. Le smartphone était fixé à l'aide d'un adaptateur à l'oculaire du microscope et un expert choisissait un champ approprié pour la capture de l'image par l'application. Une fois le nombre de champs à analyser atteints, l'application rend son diagnostic et enregistre les images pour les classer dans une base de données. L'étude microscopique par un expert et la PCR ont servi comme référence pour établir les performances de l'application, qui a obtenu une sensibilité de 100% et une spécificité de 51% sur les frottis de 85 patients, après exclusion des cas de *P.vivax* (exclus également de l'algorithme). Ces résultats sont inférieurs à ceux obtenus par l'analyse microscopique d'un expert mais cette étude a démontré le potentiel de l'utilisation d'algorithmes d'apprentissage automatique, notamment dans des zones endémiques précaires (119).

3.1.4 Diagnostic de tuberculose pulmonaire par analyse de résultats d'imagerie

L'IA a été développée comme outil d'aide au diagnostic de la tuberculose pulmonaire, notamment par l'analyse assistée par ordinateur d'images issues de radiographies thoraciques et de tomodensitométrie (64). Les systèmes de détection assistée par ordinateur, s'appuyant sur l'apprentissage profond et les réseaux de neurones, affichent des niveaux de précision élevés avec des sensibilités et des spécificités globalement comprises entre 91 et 94% (120). Dans plusieurs études, l'IA a démontré une performance comparable, voire supérieure, à celle des radiologues locaux, ce qui peut constituer un appui essentiel dans les zones à faible ressources où l'accès aux radiologues peut être limité. En première intention dans le cadre du dépistage, l'OMS recommande l'analyse d'image, ce qui permet de trier rapidement les patients, identifiant ceux qui nécessitent des tests moléculaires plus coûteux et plus lents (comme le Xpert® MTB/RIF, test qui permet de détecter l'ADN du complexe *M.tuberculosis* et la résistance à la Rifampicine), et optimisant l'utilisation des ressources (121).

Plus de quarante solutions basées sur l'IA existent pour l'analyse d'images radiographiques, mais seulement 16 sont certifiées dans le cadre de la détection de la tuberculose pulmonaire et disponibles sur le marché, comme :

1. **CAD4TB** (v8) : Développé par Delft Imaging aux Pays-Bas (CE)
2. **Genki** (v4) : Développé par DeepTek en Inde (CE, FDA États-Unis, Inde, Thaïlande, Malaisie, Indonésie, Kenya, Singapour)
3. **qXR** (v4) : Développé par Qure.ai à Mumbai, en Inde (CE, FDA États-Unis, Inde, Thaïlande, Malaisie, Indonésie, Philippines Kenya, Brésil Canada)
4. **INSIGHT CXR** (v4.7.2, v4.9.0) : Développé par Lunit à Séoul, en Corée du Sud (CE, Ministry of Foods and Drugs Safety MFDS Corée)
5. **CXR-1** (v2, v3.0) : Développé par JF Healthcare à Nanchang, en Chine (National Medical Products Administration NMPA Chine)
6. **InferRead DR Chest** (v1, v2) : Développé par Infervision à Pékin, en Chine (CE) (121,122)

Les différentes solutions basées sur l'utilisation de réseaux de neurones artificiels analysent les images morceaux par morceaux afin d'en extraire les différentes caractéristiques, en analysant en premier les formes simples, les bordures, puis en identifiant les structures complexes comme les cavités ou les infiltrats pulmonaires. Les caractéristiques ainsi extraites permettent ensuite à l'IA de déduire s'il existe une probabilité ou non que l'image radiographique corresponde à une tuberculose pulmonaire (123). Certaines approches d'IA reposent sur des méthodes d'explicabilité permettant aux experts médicaux d'identifier les images analysées par le modèle, de s'assurer que les prédictions reposent sur des signes radiologiques pertinents et de détecter d'éventuels artefacts d'imagerie susceptibles d'influencer le résultat. (124).

Les études soulignent que ces outils numériques offrent des solutions prometteuses pour pallier le manque de spécialistes dans les régions à ressources limitées (121,125). Le déploiement et le financement de ces technologies d'IA dans les pays à faibles ressources doit reposer sur une collaboration étroite entre les organisations internationales, les agences gouvernementales de développement, les organisations non gouvernementales (ONG) et des partenariats mondiaux. L'OMS recommande l'utilisation de logiciels de conception assistée par ordinateur (CAD) pour l'interprétation automatisée des radiographies thoraciques dans le dépistage et le triage de la tuberculose dans ces pays (126).

3.2 Outils d'aide à la décision clinique

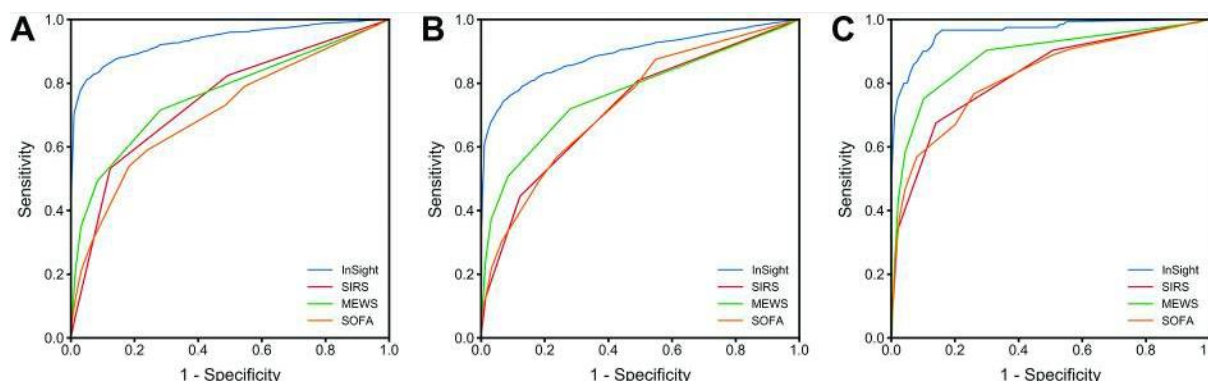
Les **CDSS** ou **systèmes d'aides à la décision clinique (SADC)** correspondent à des outils informatiques conçus pour analyser l'ensemble des caractéristiques cliniques et biologiques d'un patient donné, à partir du DPI, afin de proposer soit des hypothèses diagnostiques compatibles avec son état clinique (aide au diagnostic), soit des options thérapeutiques susceptibles de lui être adaptées (aide à la décision thérapeutique). La notion de SADC englobe une large diversité d'outils dont certains trouvent leurs origines dans les systèmes experts, tandis que d'autres reposent aujourd'hui sur des approches fondées à partir d'algorithmes d'IA (70).

3.2.1 Outils de prédiction du sepsis

Comme décrit précédemment, plusieurs scores d'alerte sont actuellement utilisés pour aider au diagnostic du sepsis, mais la quantité de données à analyser et la généralisation des DPI permettent d'envisager une approche numérique afin de diagnostiquer précocement le sepsis et d'améliorer la surveillance des patients.

La société américaine Dascena a développé **InSight®**, un algorithme basé sur l'apprentissage automatique pour identifier le sepsis à partir des données extraites du DPI. L'algorithme analyse six signes vitaux : les pressions artérielles systolique (PAS) et diastolique (PAD), les fréquences cardiaque (FC) et respiratoire (FR), la saturation en oxygène (SO₂) et la température. InSight a été évalué sur l'ensemble des données rétrospectives des patients du centre médical de l'Université de Californie à San Francisco de juin 2011 à mars 2016, et à partir des données des patients de l'unité de soins intensifs du centre médical Beth Israel Diaconess à Boston entre 2001 et 2012 comme source d'apprentissage pour l'algorithme. Les performances d'InSight ont été comparées à celles des scores SIRS, MEWS et SOFA. La capacité de l'algorithme à détecter l'apparition du sepsis et à prédire le choc septique jusqu'à quatre heures avant sa survenue a été évaluée à l'aide de la courbe ROC (Receiver Operating Characteristic). Cette courbe, qui illustre la relation entre la sensibilité et la spécificité, montre des performances supérieures à celles des scores comparatifs dans cette étude. L'aire sous la courbe ROC (AUROC) représente la précision globale d'un test : une valeur proche de 1 indique une sensibilité et une spécificité élevées.

Figure 8 : Comparaison des courbes de ROC pour InSight, SIRS, MEWS et SOFA pour A : l'apparition du sepsis ; B : l'apparition du sepsis sévère et C : le choc septique (127)



InSight a ensuite été testé sur les données que quatre autres hôpitaux afin de déterminer la généralisabilité de l'algorithme. Les performances pour la prédiction du sepsis sévère au moment de son apparition retrouvaient des sensibilités entre 79% et 87%, ainsi que des spécificités entre 90% et 98%.

Malgré ces performances prometteuses InSight ne se base que sur six données vitales et ne prend pas en compte le jugement du clinicien, qui a dans la réalité accès à un champ plus large de résultats de laboratoire pouvant l'amener à conclure plus tôt au sepsis, ce qui limite l'exactitude de cette étude (127).

En 2021 une étude a réalisé une évaluation prospective de l'algorithme InSight sur neuf hôpitaux américains en lui permettant d'extraire les données directement des DPI de plus de 75 000 patients. Le logiciel surveille en temps réel les six signes vitaux et envoie une alerte au soignant lorsqu'il détecte un risque élevé de sepsis. L'utilisation de l'algorithme a révélé une réduction de la mortalité hospitalière pour les séjours liés au sepsis, passant de 3,86% sur la période de base, à 2,34%, une diminution de la durée du séjour passant de 4,83 jours à 3,27 jours et une diminution du taux de réadmission à 30 jours passant de 36,4% à 28,12%, et avec pour résultat une économie financière non négligeable (128).

Ainsi plusieurs études ont démontré de bonnes performances de l'algorithme InSight dans la prédiction du sepsis et son utilisation dans des services hospitaliers intégrés au DME a permis de démontrer un bénéfice dans la prise en charge du patient et par extension un bénéfice financier pour l'hôpital. Malgré ces résultats encourageants, l'utilisation effective en pratique clinique demeure limitée en raison d'un manque de

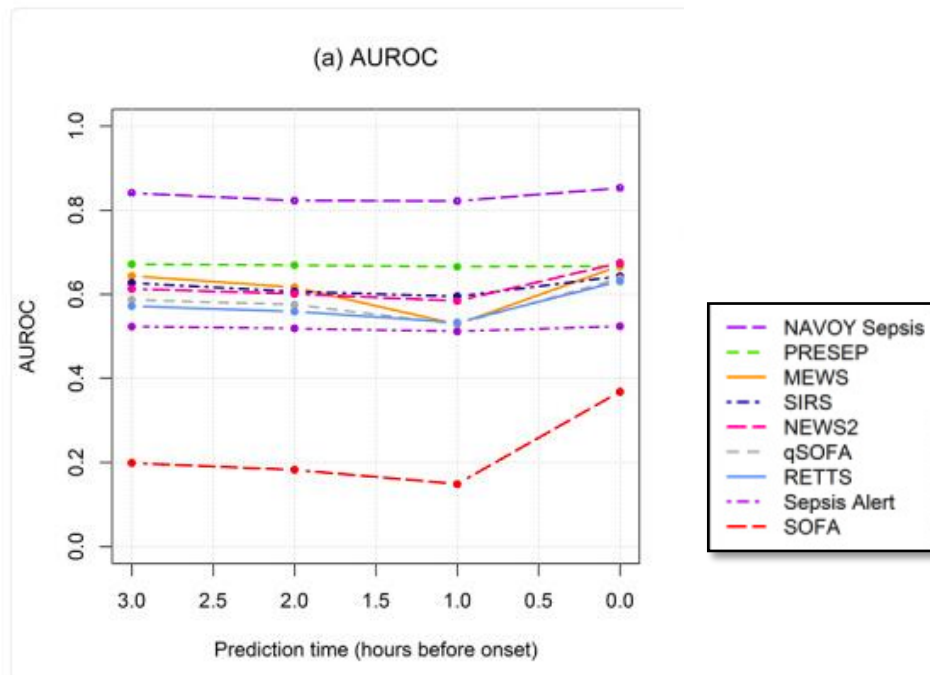
validation externe garantissant la reproductibilité. En effet, l'application de cet algorithme a principalement été étudiée chez des patients hospitalisés en unités de soins intensifs.

Développé en Suède le logiciel **NAVOY®** est un SADC pour la détection du sepsis dans les unités de soins intensifs. Il est basé sur le système d'intelligence artificielle AlgoDx approuvé par l'UE avec le marquage CE depuis 2021 comme dispositif médical logiciel, et plus récemment approuvé par la FDA aux États-Unis en 2024 (129). L'algorithme a été développé à l'aide de réseaux neuronaux convolutifs et analyse vingt variables cliniques extraites des DPI qui sont surveillées en temps réel. Les variables analysées comprennent :

- Les signes vitaux : PAS, PAD, FC, FR, SO₂, température et la fraction d'oxygène inspirée (FiO₂)
- Les résultats de laboratoire : créatininémie, urémie, glycémie, lactatémie, bilirubinémie, numération plaquettaire (NP), globules blancs (GB), pH et *International normalized ratio* (INR)
- Données intrinsèques au patient : âge, sexe, utilisation d'amines vasopressives, score de Glasgow.

L'algorithme utilise les données collectées aux cours des quatre dernières heures pour générer une prédiction, en se référant aux critères internationaux Sepsis-3 qui exigent une suspicion d'infection combinée à une augmentation du score SOFA d'au moins 2 points. Plusieurs études ont évalué les performances de NAVOY sur des données rétrospectives et elles montrent que la sensibilité et la spécificité sont plus élevées pour l'algorithme que celles des scores de comparaison comme SOFA, qSOFA, SIRS, MEWS, ou NEWS. Avec une AUROC élevée l'algorithme NAVOY donne une proportion élevée de vrais positifs et une faible proportion de faux positifs (130).

Figure 9 : AUROC de comparaison des scores de risque pour la prédiction du sepsis jusqu'à 3 heures à l'avance (130)



Une étude prospective visant à valider l'algorithme en milieu clinique a été menée dans l'unité de soins intensifs de l'hôpital universitaire de Skåne en Suède entre décembre 2020 et novembre 2021. L'étude a démontré que l'algorithme NAVOY pouvait prédire le risque de sepsis trois heures avant son apparition clinique avec une sensibilité de 80% et une spécificité de 78%. L'étude a été menée pendant la pandémie de la COVID-19 ce qui présente un biais pour les performances de l'algorithme car il a été formé pour prédire le sepsis d'origine bactérienne. Il a tout de même montré la même capacité à prévenir le sepsis chez les patients atteints de la COVID-19, assurant une fiabilité de surveillance, même pendant une crise sanitaire (131).

Dans cette étude, l'algorithme a permis d'identifier, avec de bonnes performances, les patients à risque de développer un sepsis jusqu'à trois heures avant son apparition, confirmant ainsi la précision pronostique de l'algorithme dans un contexte prospectif. NAVOY s'insère dans la routine en automatisant la surveillance manuelle des constantes du patient, permettant une détection précoce et une gestion efficace des cas de sepsis, réduisant ainsi le risque de diagnostic tardif du sepsis lié aux limites humaines.

PREVIA Medical© est une entreprise française fondée à Lyon en 2020 spécialisée en médecine prédictive qui utilise l'IA pour anticiper les urgences vitales en milieu hospitalier. **SEPSI Score**© est leur innovation numérique capable de prédire le risque de développer un sepsis jusqu'à 48 heures avant l'apparition des premiers signes cliniques (132). L'algorithme est basé sur l'apprentissage automatique et sur la classification binaire qui permet de classer un patient dans la catégorie « à risque de développer un sepsis » ou non, en analysant une centaine de paramètres par patient. Le système extrait les données directement du DPI, telles que :

- les données temporelles : signes vitaux et résultats de laboratoire
- les antécédents médicaux et comorbidités
- les données intrinsèques au patient : âge, sexe, date d'hospitalisation.

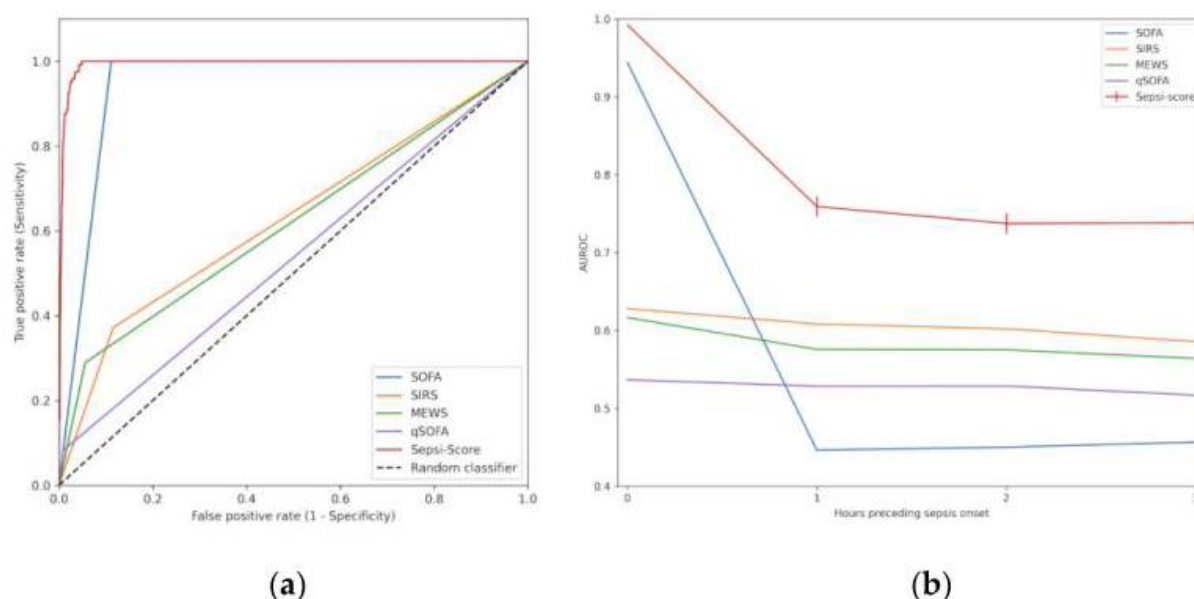
L'algorithme calcule le risque en se basant sur la fenêtre des données des trois dernières heures pour les données temporelles. Le score de risque est recalculé toutes les heures pour chaque patient, et lorsque l'algorithme identifie des tendances indiquant un risque imminent, une alerte est immédiatement envoyée au personnel médical.

L'algorithme a été entraîné sur les données de 45 127 patients de tous les services du Centre hospitalier (CH) de Valenciennes (CHV), et après application des critères d'inclusion et d'exclusion l'ensemble des données comprenait 26 652 patients avec 1308 cas de sepsis ce qui représentait une prévalence de 4,9%.

Une étude rétrospective incluant 5 270 patients du CHV dont 121 cas de sepsis a permis la validation de l'algorithme. Les performances de SEPSI Score retrouvaient une sensibilité de 84% et une spécificité de 98,7% pour la détection du sepsis (133).

Les courbes ROC démontrent l'avantage du SEPSI Score en comparaison aux scores de comparaison SOFA, SIRS, MEWS, et qSOFA. Les courbes AUROC démontrent que le SEPSI Score était toujours plus précis que les scores de comparaison, et cela jusqu'à trois heures avant l'apparition du sepsis.

Figure 10 : Courbes ROC au début du sepsis (a) et AUROC jusqu'à trois heures avant le début du sepsis (b) pour le SEPSI Score et les scores SOFA, SIRS, MEWS et qSOFA (133)



Cette étude a également démontré que le SEPSI Score a permis la détection de plus de la moitié des cas de sepsis au moins 48 heures avant leur début, et cela pour les patients dont le sepsis a été diagnostiqué pendant leur hospitalisation. Ces résultats promettent une plus grande fenêtre d'intervention pour les cliniciens ce qui permettrait une optimisation de la prise en charge des patients, inscrivant cet algorithme comme un atout dans une politique de prévention du sepsis.

Bien que les comparaisons directes soient limitées par l'hétérogénéité des méthodologies, le score SEPSI présente des performances supérieures à celles des algorithmes InSight et NAVOY limitées aux patients admis en unités de soins intensifs. En intégrant des données issues de patients hospitalisés dans l'ensemble des services médicaux d'un même établissement, le SEPSI Score représente le premier modèle construit sur une population hospitalière aussi large, suggérant un potentiel de généralisabilité accru (133). Une étude clinique prospective est actuellement en cours afin d'évaluer son impact clinique et médico-économique en conditions réelles d'utilisation (134).

3.2.2 Outils de prédiction d'infection post-opératoires

Développé au Leiden University Medical Center (LUMC) aux Pays-Bas, **PERISCOPE®** est un outil d'aide à la décision clinique utilisant l'IA pour prédire le risque d'infection bactérienne après une intervention chirurgicale. L'objectif était de développer un outil de prévention du risque d'infection post-opératoire en intégrant les données du patient recueillies avant, pendant et après l'intervention chirurgicale. Cet outil vise à faciliter le travail des professionnels de santé tout en permettant une identification précoce des infections postopératoires, afin d'en limiter les conséquences cliniques, de réduire les réadmissions hospitalières et de diminuer les coûts associés aux soins. Le modèle utilise des modèles XGBoost d'apprentissage automatique pour traiter les informations directement extraites du DME. Une cinquantaine de données sont analysées :

- les signes vitaux pré- et peropératoires
- les résultats de laboratoire pré-opératoires : avec des marqueurs comme l'hémoglobine, le taux de GB, la CRP, les aminotransférases, les résultats des cultures bactériennes
- les antécédents et comorbidités
- les données intrinsèques au patient : âge, sexe
- et d'autres informations cliniques : score ASA (score médical de référence pour exprimer l'état de santé pré-opératoire d'un patient), nombre de jours effectifs d'hospitalisation avant la chirurgie, durée d'admission prévue.

L'algorithme génère un score compris entre 0 et 100 % pour chaque patient, correspondant à la probabilité de développer une infection postopératoire dans les 7 à 30 jours suivant l'intervention. L'algorithme intègre un mécanisme d'explicabilité, permettant d'identifier les dix variables ayant le plus influencé le score final pour un patient donné et de préciser si elles ont contribué à augmenter ou à diminuer le risque estimé.

PERISCOPE a d'abord été développé et entraîné sur les données rétrospectives d'un premier hôpital A, puis le modèle a été testé dans deux autres hôpitaux B et C avec un recalibrage local permettant l'adaptation de l'IA aux spécificités locales du nouvel établissement. Le recalibrage local tient compte des différences entre les hôpitaux concernant les populations de patients, les protocoles cliniques et les systèmes de dossiers de santé informatisés. Les performances finales ont été évaluées par une

validation temporelle sur des données plus récentes durant les années 2022 et 2023 des trois hôpitaux pour garantir sa pertinence. Plus de 250 000 procédures chirurgicales ont été incluses : les taux globaux d'infections post-opératoires à 7 et à 30 jours pour les trois hôpitaux sont représentés dans le tableau (1). L'hôpital C est un hôpital non universitaire ayant des scores ASA plus faibles, d'où le taux d'infections plus faible. La performance de discrimination du modèle, c'est-à-dire sa capacité à distinguer les patients qui développeront une infection de ceux qui n'en développeront pas, est évaluée à l'aide de l'AUROC. Après recalibrage local le modèle a obtenu des scores élevés représentés dans le tableau (1). Les résultats montrent l'importance du recalibrage local et de la mise à jour de l'algorithme avant son utilisation.

Tableau 1 : Taux globaux d'infections post-opératoires dans les hôpitaux A, B et C et performances de la prédiction d'infections post-opératoires de l'outil PERISCOPE à 7 et à 30 jours après intervention chirurgicale

		Hôpital A	Hôpital B	Hôpital C
Taux d'infections post-opératoires	à 7 jours	8%	7%	3%
	à 30 jours	14%	14%	4%
AUROC (données de validation temporelle)	à 7 jours	0,81	0,77	0,86
	à 30 jours	0,82	0,77	0,85
AUROC (après recalibrage local pour les hôpitaux B et C)	à 7 jours	/	0,81	0,92
	à 30 jours	/	0,82	0,91

Des graphiques ont ensuite été utilisés pour confirmer que les probabilités de risque prédites par l'IA correspondaient étroitement aux taux d'infections réellement observés chez les patients (135).

Certifié CE par l'UE et répondant aux normes ISO 13485 et ISO 27001, PERISCOPE a pour objectif de soutenir la décision médicale sans remplacer le jugement du médecin, en identifiant les patients qui auraient besoin d'une surveillance médicale accrue. Une surveillance clinique post-commercialisation ainsi que des études cliniques complémentaires sont nécessaires afin d'évaluer l'impact de l'algorithme sur les décisions médicales, la prise en charge des patients et les coûts de santé (135,136). L'intégration complète de PERISCOPE dans les systèmes hospitaliers, notamment au LUMC est prévue pour la mi-2026 et son déploiement pourrait ouvrir de nouvelles perspectives pour l'avenir. (137).

3.3 Outils d'aide à la décision clinique et à la prescription d'antimicrobiens

Dans un contexte où la prescription d'antibiotiques et l'antibiorésistance sont au cœur des problématiques hospitalières, le numérique trouve des applications dans l'aide à la décision clinique et à la prescription d'antimicrobiens via différents supports. La stratégie nationale 2022-2027, propose dans l'action 21 de renforcer l'utilisation d'outils d'aide à la prescription pour promouvoir les bonnes pratiques (2). Ces dernières années, de nombreux sites internet, applications mobiles et logiciels intégrés aux DPI hospitaliers ont été développés, offrant aux professionnels de santé un appui pour la prise de décision clinique (138). On distingue deux types d'outils numériques dans ce contexte : les outils autonomes, généralement accessibles via des appareils mobiles, qui fonctionnent de manière indépendante, et les outils intégrés, qui sont capables d'extraire les données spécifiques du patient directement à partir du DPI (139).

3.3.1 Sites internet et applications autonomes

Les sites internet et applications autonomes pour téléphones mobiles permettent aux cliniciens d'accéder rapidement à des recommandations thérapeutiques en matière d'antimicrobiens, issues de recommandations locales comme internationales. Elles se distinguent par leur accessibilité, leurs mises à jour fréquentes et le grand nombre d'informations fournies sur les agents pathogènes et les traitements, le tout avec un coût généralement inférieur à celui des systèmes intégrés. Toutefois, leur efficacité reste conditionnée par l'usage qu'en font les utilisateurs, et la fiabilité des sources de données utilisées doit être systématiquement vérifiée.

Le développement du numérique en santé s'est effectué plus précocement sur le continent nord-américain qu'en France, et les outils d'aide à la prescription d'antimicrobiens, notamment les sites internet et les applications dédiées, sont utilisés depuis plus longtemps en pratique clinique sur leur continent.

Stewardship Assist™, développée aux États-Unis, est une plateforme accessible sur internet également disponible comme application mobile (139). Cette application constitue un outil d'aide pour les cliniciens, qui peuvent intégrer leurs résultats

d'antibiogrammes, leurs recommandations locales et se référer aux recommandations du Sanford Guide, qui leur fournit des recommandations actualisées concernant le choix, la posologie, et le spectre d'activité des antimicrobiens pour un large éventail d'infections. Lancée en 2017, l'application nécessite une adhésion par l'institution utilisatrice, et compte plus de 1 000 établissements utilisateurs situés sur le continent américain (140,141).

ABX Guide fait partie des guides *point-of-care information technology* (POC-IT) développés par l'université de Johns Hopkins aux États-Unis en 2001. Ce guide, spécifique aux maladies infectieuses et aux antibiothérapies adaptées, permet un accès rapide au chevet du patient via un site internet ou une application, et regroupe les recommandations sur les pathologies infectieuses, les antibiotiques, leurs spectres et leurs interactions, ainsi que les posologies. Son usage est majoritairement individuel avec un abonnement annuel personnel d'environ 35 euros, à destination des médecins, des infirmiers, des pharmaciens et des étudiants. Parmi les guides proposés par Johns Hopkins Medicine, le VIH Guide permet également une vision rapide des recommandations dans la gestion des traitements du virus de l'immunodéficience humaine (VIH), avec un accès aux monographies des traitements, aux directives et aux stratégies, et constitue un réel outil d'aide à la décision clinique (142).

Clinical Key® est une plateforme de connaissances médicales européenne développée par Elsevier en 2010, qui permet une recherche documentaire rapide sur les pathologies, les traitements, les procédures, avec un accès à des sources validées issues de recommandations locales et internationales régulièrement actualisées. Cette plateforme peut être utilisée comme un outil de consultation et de référence pour les cliniciens ou encore les étudiants, et est largement utilisée à travers le monde (143). En 2024 Elsevier Health a développé une nouvelle version de ClinicalKey intégrant l'IA générative basée sur les Large Language Models (LLM), en collaboration avec l'entreprise d'IA OpenEvidence. Avec une interface de recherche conversationnelle ayant pour but de simplifier la recherche et la synthèse automatique pour les utilisateurs, **Clinical Key AI** représente une véritable aide à la décision clinique pour les utilisateurs. Le logiciel actuellement disponible sur le marché avec un abonnement individuel de l'ordre de 300 euros par an, peut être également intégré aux

systèmes hospitaliers après acquisition d'une licence institutionnelle. Cette option rend possible une réponse argumentée avec des références évitant l'effet boîte noire, et adaptée au patient en prenant en compte le contexte, les comorbidités, ou encore les traitements, s'ils sont renseignés par l'utilisateur (144,145). Clinical Key AI enrichit continuellement sa base de connaissances en intégrant de nouvelles revues et recommandations issues des sociétés savantes internationales, et est aujourd'hui utilisé dans plus de 300 hôpitaux à travers le monde (146).

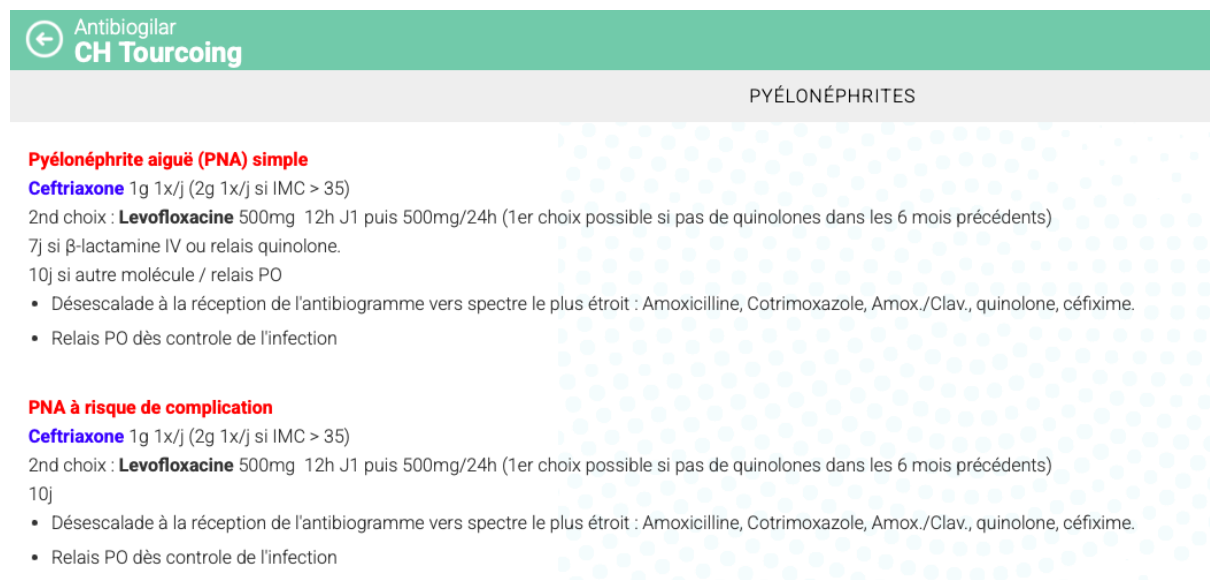
Si plusieurs outils indépendants d'aide à la prescription anti-infectieuse ont émergé précocement à l'international, la France a également vu se développer au cours des dernières années, des sites internet et applications mobiles, dans une volonté croissante d'amélioration du BUA.

Initialement créé en 1994, le groupe Antibiogarde regroupant plusieurs professionnels de santé français proposait des guides de prescription d'antibiothérapie en format papier. En 2003 une première version Intranet est développée, pour évoluer vers une version Web et application Apple dans les années 2010. Depuis, **Antibiogarde®** est un outil d'aide à la prescription d'antibiotiques utilisable en ville mais aussi en milieu hospitalier. L'outil payant est disponible comme logiciel installable sur le système d'information de l'établissement hospitalier et personnalisable par l'équipe anti-infectieuse de l'hôpital, mais il est également accessible via internet sur ordinateur ou sur application mobile (Apple uniquement). Le coût de l'abonnement annuel individuel est d'environ 8 euros pour une utilisation sur site internet, et d'environ 10 euros pour une utilisation sur iPhone. Antibiogarde compte plusieurs établissements de santé utilisateurs comme le CHU d'Amiens, le CHU de Nantes et plusieurs autres CH périphériques ainsi que plusieurs cliniques privées à travers la France (147).

Antibiogilar est un outil gratuit, accessible sur internet mais aussi disponible sur application mobile Android et Apple depuis 2019, qui propose une aide à la prescription d'antibiotiques et d'antifongiques pour les médecins et les internes des établissements de santé. Les propositions faites fonction de la situation clinique sont basées sur le PILLY, les recommandations des sociétés savantes et des agences nationales. L'outil propose également des fiches avec les recommandations de prises en charge en cas de suspicion de pathologie infectieuse. Actuellement les recommandations de deux

CH sont référencés sur Antibiogilar : le CH de Tourcoing et le CH de Béthune, et sont régulièrement mises à jour (148).

Figure 11 : Interface du site internet Antibiogilar : exemple des recommandations du CH de Tourcoing pour les pyélonéphrites aiguës (148)



The screenshot shows the Antibiogilar website for CH Tourcoing. The header is green with a back arrow icon and the text 'Antibiogilar CH Tourcoing'. Below the header, a grey bar contains the text 'PYÉLONÉPHRITES'. The main content area has a light blue background with a pattern of small circles. It lists two types of PNA: 'Pyélonéphrite aiguë (PNA) simple' and 'PNA à risque de complication'. For each, it provides the first choice (Ceftriaxone), the second choice (Levofloxacin), and specific dosing instructions. It also includes a list of bullet points for de-escalation and relapse prevention.

**Antibiogilar
CH Tourcoing**

PYÉLONÉPHRITES

Pyélonéphrite aiguë (PNA) simple
Ceftriaxone 1g 1x/j (2g 1x/j si IMC > 35)
2nd choix : **Levofloxacin** 500mg 12h J1 puis 500mg/24h (1er choix possible si pas de quinolones dans les 6 mois précédents)
7j si β-lactamine IV ou relais quinolone.
10j si autre molécule / relais PO

- Désescalade à la réception de l'antibiogramme vers spectre le plus étroit : Amoxicilline, Cotrimoxazole, Amox./Clav., quinolone, céfixime.
- Relais PO dès contrôle de l'infection

PNA à risque de complication
Ceftriaxone 1g 1x/j (2g 1x/j si IMC > 35)
2nd choix : **Levofloxacin** 500mg 12h J1 puis 500mg/24h (1er choix possible si pas de quinolones dans les 6 mois précédents)
10j

- Désescalade à la réception de l'antibiogramme vers spectre le plus étroit : Amoxicilline, Cotrimoxazole, Amox./Clav., quinolone, céfixime.
- Relais PO dès contrôle de l'infection

Antibioguide est un outil gratuit développé par le CRAtb du Grand Est (AntibioEst). Initialement disponible sous format papier, le guide a été décliné sous forme de site internet et d'application mobile Android et Apple à partir de 2019. Les fiches traitent différentes situations cliniques infectieuses, des recherches sont possibles en fonction du germe, et les modes d'administration des antibiotiques sont décrits (149).

Applibiotic, développé initialement à la polyclinique de Bordeaux Nord en 2016, fournit une aide dans la prescription d'antibiotiques et un guide pour les médecins et pharmaciens de la polyclinique. Son utilisation a été finalement étendue pour tous les médecins et pharmaciens. Gratuit et accessible sur application mobile, Applibiotic reste accessible sur internet pour les plus réfractaires à l'utilisation des téléphones mobiles. Les références sont issues de différentes sociétés savantes, de la HAS et de l'ANSM (150).

Le Collège des universitaires des Maladies Infectieuses et Tropicales (CMIT) est à l'origine de l'outil numérique **e-POPI©**, disponible sur internet et sous forme d'application mobile Android et Apple après une adhésion annuelle de 33€. Il constitue un guide référence complet qui couvre l'ensemble des domaines de l'infectiologie et qui permet de faciliter la recherche d'informations pour les professionnels de santé (151).

Plusieurs outils ont été développés pour un usage principalement hospitalier. Toutefois, la médecine de ville représentant une part importante des prescriptions d'antibiotiques, d'autres dispositifs ont été conçus afin d'accompagner les médecins généralistes ou encore les pharmaciens d'officine dans leurs pratiques.

Antibioclic est un SADC français permettant un accès rapide aux recommandations de traitement des maladies infectieuses. Développé par des universitaires français en 2011, le site internet est un outil qui s'inscrit dans la promotion du BUA en se basant sur les recommandations françaises (152). Cet outil est à destination des professionnels de santé, principalement les médecins généralistes en ville, mais aussi les pharmaciens. L'interface permet la recherche du type d'infection par domaine : infections de l'arbre urinaire ou infections ORL par exemple, puis de la pathologie recherchée : cystite ou une otite moyenne aiguë pour l'exemple. Il est ensuite possible de renseigner des informations sur le patient comme la présence d'une insuffisance rénale aiguë ou d'une grossesse en cours, puis de répondre à une série de questions dont la recherche d'une antibiothérapie probabiliste ou documentée avec les résultats de la culture et de l'antibiogramme. Antibioclic fournit ensuite une recommandation thérapeutique, antibiotique ou non, avec une posologie et une durée, en mentionnant les alternatives possibles et les conseils associés (153,154).

Figure 12 : Interface d'Antibioclic : exemple d'une prise en charge thérapeutique d'une infection urinaire masculine documentée (153)

The screenshot shows the Antibioclic web interface. At the top, there is a navigation bar with links: ACTUALITÉS, PARTENAIRES, ANNUAIRE, OUTILS, RÉFÉRENCES, and PUBLICATIONS. The user's email, hoyez.yanet@gmail.com, is displayed in the top right corner. The main content area is divided into two columns. The left column contains a breadcrumb trail: 1. pathologie > 2. critères > 3. algorithme. Below this, a section titled 'L'ANTIBIOTHÉRAPIE QUE VOUS DÉBUTEZ EST :' has two radio button options: 'Probabiliste (pas d'antibiogramme disponible)' and 'Documentée par un antibiogramme', with the second option selected. This is followed by a question 'Infection poly-microbienne ? (plus d'un germe)' with 'Non' and 'Oui' radio buttons, where 'Non' is selected. The next section, 'QUELLE BACTÉRIE A ÉTÉ RETROUVÉE ?', includes a note '(un seul choix possible)' and four radio button options: 'Escherichia coli', 'Klebsiella pneumoniae', 'Proteus mirabilis', and 'Autre :', with 'Escherichia coli' selected. The bottom section is titled 'PRÉCISER LES RÉSISTANCES ET LES MOLÉCULES NON TESTÉES SUR L'ANTIBIOGRAMME'. The right column, titled 'VOTRE SITUATION', shows 'Pathologie : infection urinaire masculine' and 'Insuffisance rénale : non'.

Une étude menée entre juillet 2019 et janvier 2021 a comparé :

- l'intervention d'un représentant de l'AM (groupe standard)
- l'intervention d'un représentant de l'AM avec présentation du SADC Antibioclic
- et un groupe témoin (sans aucune intervention)

L'impact a été mesuré en analysant les prescriptions d'antibiotiques de 2 501 médecins généralistes de l'Ouest de la France pendant les 12 mois suivants les interventions. Le principal critère évalué était le volume total d'antibiotiques à action systémique délivrés (en DDJ) à la fin des 12 mois de suivi. D'autres critères ont également été évalués comme le volume d'antibiotiques critiques délivrés (C3G, fluoroquinolones, Amoxicilline-Acide clavulanique) et le volume d'antibiotiques délivrés dans les sous-groupes de patients âgés de plus de 65 ans et moins de 6 ans (populations présentant un niveau élevé de prescription antibiotiques). L'étude a montré qu'après 12 mois de suivi le volume moyen d'antibiotiques prescrits a diminué de 4,4% dans le groupe de visite basé sur le SADC par rapport au groupe témoin. Cependant la diminution du volume moyen d'antibiotiques distribués n'était pas significativement différente entre le groupe standard et le groupe témoin. Par ailleurs, une réduction du volume de prescriptions d'antibiotiques critiques à 12 mois a été

observée dans les deux groupes d'intervention (standard et basé sur le SADC). On note également une réduction du volume des prescriptions pour les patients âgés de plus de 65 ans et de moins de 6 ans pour le groupe basé sur le SADC. Bien que l'impact de l'intervention ait été globalement significative, il faut noter ce n'était pas le cas dans les volumes observés à 3 mois ce qui suggère un effet de familiarisation et d'apprentissage concernant le SADC par les médecins généralistes. Bien que l'étude repose sur un essai contrôlé randomisé, les périodes de confinement liées à la pandémie de COVID-19 débutées le 17 mars 2020, ont pu influencer les résultats, la France ayant relevé une baisse historique de la consommation d'antibiotique durant cette période (152).

Le nombre d'utilisateurs d'Antibioclic a constamment augmenté ces dernières années, passant d'une moyenne de 414 utilisateurs par jour en 2012 à 5 365 par jour en 2018. Une enquête a été menée auprès de 35 médecins généralistes sur leur utilisation du SADC. Les participants ont exprimé la confiance qu'ils accordaient à Antibioclic, notamment liée au fait que l'outil leur avait parfois été présenté au cours de leurs études médicales ou de leur internat, et que le SADC s'appuie sur des recommandations validées par les autorités sanitaires, et pas seulement sur des recommandations d'experts. La simplicité d'utilisation représentait un critère essentiel pour les médecins afin qu'ils puissent utiliser l'outil facilement pendant leurs consultations médicales, y compris lors de consultations à domicile via l'application mobile. Les participants ont rapporté un gain de temps dans l'accès aux recommandations pendant leurs consultations, évitant les recherches plus fastidieuses dans des livres ou sur internet. Différents types d'utilisation étaient décrits : certains utilisaient l'outil systématiquement pour valider leurs prescriptions d'antibiotiques, d'autres l'utilisaient dans des cas plus spécifiques comme la prise en charge thérapeutique chez une femme enceinte ou chez un patient atteint d'insuffisance rénale. Certains voyaient l'outil comme un outil éducatif suite à la répétition des requêtes effectuées, un moyen de consolider ses connaissances, ou encore un moyen de se tenir régulièrement à jour des nouvelles recommandations. Les médecins participants n'ont pas relevé d'augmentation du temps d'écran due à l'utilisation de l'outil, et ils ont assuré que la qualité des interactions avec les patients n'était pas altérée (155).

Dans leur rapport d'activité de l'année 2024, Antibioclic recensait 114 138 utilisateurs de l'outil sur tout le territoire français. Parmi l'ensemble des utilisateurs, 77 079 étaient des médecins dont 58 289 généralistes, 4 789 urgentistes, 1 887 pédiatres et 1 774 gériatres. D'autres professions de santé étaient également représentées, notamment 11 256 pharmaciens, 5 089 sage-femmes, et 958 infirmières. Par ailleurs, 16 735 étudiants étaient enregistrés dans l'outil. Durant l'année 2024 plus de cinq millions de requêtes ont été réalisées sur Antibioclic, représentant environ plus de 15 000 requêtes par jour (156).

AntibioHelp, à l'initiative d'une équipe de recherche parisienne, peut être cité comme outil comparable à Antibioclic, car principalement à destination des médecins généralistes pour une utilisation en ville. L'interface affiche une liste des options thérapeutiques recommandées classées par ordre d'importance et celles qui ne le sont pas. Pour chaque option les propriétés des antibiotiques sont mentionnées. Cela permet au médecin de décider rapidement quel antibiotique est le plus approprié dans sa situation (157). Pour l'instant l'outil n'est pas accessible librement et fait l'objet d'études auprès des médecins généralistes pour tester son efficacité.

Dans le même registre, le site internet **VIHclic** est un outil d'aide à la prise en charge des patients vivants avec le VIH et à destination principalement des professionnels de santé en ville. L'outil a été élaboré par des médecins de l'université de Paris Diderot-Paris 7, et mis en ligne en septembre 2017. Ce site regroupe des fiches conseils, des fiches récapitulatives sur les antirétroviraux, ou encore des conseils sur les consultations de suivi (158).

Un autre type d'outil a été développé par le CPias Nouvelle-Aquitaine et la direction du numérique du CHU de Bordeaux, en collaboration avec l'unité de prévention et de contrôle des infections du service d'hygiène hospitalière du CHU de Bordeaux, dans le cadre de la mission nationale d'appui transversal aux actions de prévention des infections associées aux soins (MATIS). **Bug.control** est un outil indépendant et informatif sur les micro-organismes, les pathologies infectieuses et leurs préventions associées, basé sur les recommandations 2023 du CMIT, de la SF2H, de la mission nationale de coordination opérationnelle du risque épidémique et biologique (COREB), et des recommandations internationales canadiennes et australiennes. Accessible

gratuitement sur internet ou via une application mobile Apple ou Android, Bug.control n'est pas un outil d'aide à la prescription. Il vise plutôt à accompagner les professionnels de santé dans la prise en charge d'infections à risque de transmission. Les recherches peuvent être effectuées par type de pathologie ou de micro-organisme, et propose une rubrique regroupant les mesures de préventions avec leurs définitions. Sans constituer une aide à la prescription, cet outil participe à la promotion des bonnes pratiques de prévention du risque infectieux (159).

AntibioEst, le CRAIb du Grand Est, propose dans le cadre de la mission nationale SPARES un ensemble d'outils et de ressources sur le BUA. Un document téléchargeable recense ainsi l'ensemble des outils de BUA destinés aux professionnels de santé hospitaliers : fiches de recommandations, sites internet de référence, diaporamas, articles scientifiques et applications mobiles. En complément de ce document, plusieurs fiches pratiques, conseils et webinaires sont également proposés sur cette thématique (160).

Figure 13 : Présentation du kit d'outils sur le BUA téléchargeable, proposé par AntibioEst dans le cadre de la mission nationale SPARES (160)



VERSION 5

Avril 2026



Kit d'outils concernant le Bon Usage des Antibiotiques

Mission Nationale SPARES BUA

NOUVEAU DANS CETTE VERSION



Les Coups de Coeur SPARES

Identifiables grâce au pictogramme cœur ♥, les **Coups de Coeur SPARES** correspondent à une sélection d'outils mise en avant par l'équipe SPARES. Cette sélection, volontairement subjective et évolutive d'une version à l'autre, vise simplement à attirer l'attention sur des ressources jugées particulièrement pertinentes : outils récents, initiatives locales, ou encore contenus en lien avec l'actualité. Ces Coups de cœur n'ont pas vocation à se substituer aux outils de référence institutionnels, mais constituent un éclairage complémentaire pour faciliter la découverte et valoriser certaines ressources.

Méthodologie

Cette liste a été construite par SPARES à partir des données de la littérature, des sites nationaux et internationaux officiels et des documents transmis par les différents CRAIb. La mise à jour de cet inventaire est faite au fil de l'eau. Les ressources disponibles (en français ou en anglais) peuvent être consultées et téléchargées gratuitement pour la plupart. A ce stade, il s'agit d'une base de données de partage de documents par les CRAIb et la mission nationale SPARES (qui justifient tous d'une expertise dans le domaine de l'infectiologie). Le contenu ne fait pas l'objet d'une validation ou d'une sélection préalable par la mission nationale.

Nous vous rendons également vigilants sur l'utilisation des outils issus de sources étrangères dont l'application au contexte national n'est pas toujours pertinente en raison d'écologie bactérienne ou de disponibilité de molécules antibiotiques possiblement différentes.

Il en va de la responsabilité de chaque utilisateur de s'assurer de la pertinence des ressources listées et de l'utilisation qu'il en fait dans sa pratique.

Cette liste est non exhaustive et sera mise à jour régulièrement (vos suggestions sont les bienvenues !).

Description des différents onglets

ONGLET	DESCRIPTION
Référentiels	Dans cet onglet sont répertoriés les différentes recommandations nationales et guidelines internationales : il regroupe les outils de base en termes de BUA.
Par situation clinique	Cet onglet comprend les différents outils, documents, articles, présentations et fiches classés par type d'infection.
Optimisation de l'antibiothérapie	Cet onglet regroupe les outils d'aide à la prescription et/ou à l'administration des antibiotiques pour tous types de patients et patients particuliers.
Outils stratégiques	Cet onglet regroupe les outils utiles à la mise en place d'actions et de programmes de BUA dans les structures de soins.
Audits	Cet onglet regroupe les outils aidant à la mise en place d'audits évaluant la qualité des prescriptions d'antibiotiques.
Formation	Cet onglet liste les formations validantes (DPC, certificat délivré en fin de formation) ou diplômantes dans le domaine du BUA (DU, DIU).

Comment faire une recherche dans le document ?

⇨ **Par thème**

Ouvrez l'onglet correspondant au thème souhaité selon la description à droite, puis filtrez les champs des colonnes pour trouver ce qui vous intéresse (par date, secteur, type d'infection, format de document...)

⇨ **Par mot-clé, en recherche rapide**

Tapez Ctrl+F puis entrez le(s) mot(s) clé(s) souhaité(s) : Les mots recherchés apparaîtront surlignés dans le tableau dans l'onglet correspondant à votre recherche.

NB : La colonne **Groupe** vous permet d'afficher (grâce au filtre) les outils triés selon la méthode décrite ci-dessous à gauche.

Méthode d'attribution à des groupes d'outils

	A	B
	Article scientifique, document ou recommandation produit.e par une société savante nationale ou internationale/étrangère ou une structure nationale	Document produit par une structure locale (régionale/départementale comme CRAIb ou ONEDIT) ou une structure nationale étrangère (ADSP, BSAC...)
1		
Produit à partir d'Année N-5	Groupe A1	Groupe B1
2		
Produit avant Année N-5 ou absence de date	Groupe A2	Groupe B2

Vous connaissez un outil qui pourrait être ajouté à cette base ?

⇨ **Contribuez à la mise à jour de ce tableau**

Si vous connaissez des ressources plus récentes ou sur une thématique non couverte par celles recensées ici, et que vous proposez d'intégrer dans cette base, envoyez nous un mail à l'adresse ci-dessous pour effectuer la mise à jour. Merci d'indiquer en objet de votre mail "CONTRIBUTION LISTING OUTILS SPARES". Après vérification, l'équipe décidera si la ressource peut être ajoutée, et vous fera un retour.

⇨ **Aidez-nous à maintenir les liens actifs**

Si vous remarquez qu'un lien n'est plus fonctionnel (ou toute autre défaut technique du document), nous vous invitons également à nous le faire remonter, via la même adresse mail.

 antibioest@chru-nancy.fr

Lisez-moi

Référentiels

Par situation clinique

Optimisation ATBthérapie

Outils stratégiques

Audits

Formation

+

Ces différents outils sont accessibles sur internet ou sur application mobile et sont basés sur des recommandations d'experts régulièrement mises à jour. Ils représentent un réel soutien à la décision clinique, appréciés du fait de la facilité de recherche, dans le but d'améliorer la qualité des prescriptions d'anti-infectieux. D'autres types de solutions qui viennent recueillir directement les données du patient dans le DME se sont alors développés : les logiciels d'antibiogouvernance intégrés.

3.3.2 Logiciels intégrés

Développée au Royaume-Uni au début des années 2000, la solution **ICNET®** constitue un outil de surveillance dédié à la prévention des infections associées aux soins et à l'antibiogouvernance. Rachetée depuis par la société américaine Baxter®, ICNET est largement implantée au sein du National Health Service (NHS) britannique, et collabore à l'échelle mondiale avec plus de 1 200 établissements (161).

Une étude observationnelle rétrospective a été menée au sein d'un hôpital universitaire à Londres en 2016 afin d'évaluer l'aide dans l'antibiogouvernance du logiciel. ICNET extrait les informations microbiologiques, biochimiques et hématologiques provenant du SIL, en complément des informations relatives aux patients et des prescriptions médicamenteuses issues du DME. Des alertes en temps-réel peuvent être définies et paramétrées en fonction de certaines valeurs critiques extraites des résultats du laboratoire, ou encore lors de la prescription d'anti-infectieux. Un pharmacien spécialisé examine alors les alertes et met en place ensuite les mesures adéquates. Le nombre de patients examinés et le nombre d'interventions dans ce contexte, l'impact clinique et les données de prescription d'anti-infectieux en DDJ ont été analysés sur une période de 3 mois avant la mise en place du logiciel, et 3 mois après. L'étude montre qu'après la mise en place de ICNET, le nombre d'interventions cliniques anti-infectieuses a augmenté, avec une augmentation du nombre d'interventions concernant l'ajustement de la posologie du médicament. En parallèle, une diminution des DDJ a été constatée après mise en place du SADC. L'outil a permis une meilleure identification des patients concernés par une nécessité d'examen par l'équipe anti-infectieuse, notamment grâce au fait que l'utilisateur peut paramétrer ses propres alertes lorsque certaines conditions sont remplies (162).

Nosotech® est une entreprise québécoise créée en 2006, qui propose deux solutions spécialisées dans la prévention des maladies infectieuses : Antibios®, logiciel d'antibiogouvernance, et Nosokos®, logiciel d'infectiovigilance.

Antibios®, déployé depuis 2015, est un logiciel qui permet la surveillance des prescriptions d'antibiotiques et génère des alertes si la durée de l'antibiothérapie est dépassée selon les recommandations, si une résistance à un antibiotique est détectée, ou encore si un ajustement de posologie est nécessaire, en intégrant les données

directement du DME (163). Il existe très peu d'études scientifiques publiées sur son efficacité mais AntibioKos est cité dans les revues sur les SADC (139). Le logiciel a été mis en place à l'Hôpital général juif de Montréal, au sein de deux hôpitaux au Québec, ainsi qu'au sein de deux hôpitaux en Belgique (164).

La société Lumed™, également canadienne, a été créée en 2012 et cofondée par deux étudiants chercheurs et un professeur directeur du département de microbiologie-infectiologie de la faculté de médecine de l'université de Sherbrooke (165). Lumed s'est ensuite allié avec bioMérieux afin de permettre sa commercialisation à travers le monde (166). Lumed propose deux modules distincts : le module APSS™ (Antimicrobial Prescription Surveillance System) d'antibiogouvernance, et le module ZINC™ pour la surveillance des infections (présenté plus bas). Le système de surveillance **APSS™** est une technologie conçue pour aider les référents en antibiothérapie dans l'identification des prescriptions inappropriées (167). Les deux modules de Lumed sont basés sur une IA dite déterministe, garantissant une fiabilité, une explicabilité et une conformité réglementaire. Les solutions reposent sur des règles métiers préétablies et validées cliniquement.

Une étude de cohorte prospective s'est déroulée de juin 2014 à juin 2017 au CHU de Sherbrooke dans le but d'évaluer l'impact de l'utilisation du module APSS sur la consommation d'antibiotiques. Au total, 3 197 recommandations ont été générées par le système APSS au cours de la période d'étude. Parmi celles transmises par le pharmacien aux prescripteurs, 2 885 ont été acceptées, soit un taux de 90,2 %. Les interventions les plus fréquemment proposées concernaient l'arrêt du traitement antibiotique (77,9 %), l'ajustement de la posologie ou de la fréquence d'administration (27,4 %), le relais de la voie intraveineuse vers la voie orale (26,5 %) ainsi que la modification du spectre antibiotique (17 %). L'acceptation d'une recommandation a démontré une réduction significative de la durée de traitement par antibiotiques : la durée moyenne de traitement était de 0,26 jour en cas d'acceptation contre 1,78 jours en cas de refus. Une réduction de la durée de traitement a également été observée pour les antibiotiques à large spectre, notamment les C3G et C4G, les carbapénèmes et les fluoroquinolones. Malgré ces résultats, l'étude n'a pas montré de réduction significative de la mortalité dans les cas où les recommandations faites grâce au

système APSS étaient acceptées. De la même façon, la durée moyenne de séjour est restée similaire, que la recommandation ait été acceptée ou refusée (168). Ces résultats encourageants concernant la réduction de la durée des traitements antibiotiques doivent désormais être confirmés par d'autres études prospectives afin d'évaluer plus précisément l'impact de l'utilisation de l'APSS.

Si le déploiement des solutions intégrées d'antibiogouvernance a été initié plus précocement dans certains pays européens, la France s'est progressivement engagée dans cette dynamique et des solutions commencent à s'implanter sur le territoire.

L'APSS a été installé pour la première fois en France en 2021, au sein du CH Régional Universitaire (CHRU) de Nancy. Entre 2021 et 2023 les membres de l'équipe anti-infectieuse ont collaboré avec Lumed afin d'adapter la base de connaissances de l'APSS aux recommandations françaises ainsi qu'aux directives locales du CHRU de Nancy. Les connexions aux différents logiciels hospitaliers ont dû être établies, notamment au DME, au DME spécifique des soins intensifs et au SIL du laboratoire. La mise en production a débuté en mai 2023 et une étude prospective monocentrique est en cours, dans le but d'évaluer l'impact du logiciel sur la prescription d'antibiotiques chez les patients de plus de 18 ans et hospitalisés plus de 48 heures au sein du CHRU. La période de l'étude retenue est de 12 mois avant et 12 mois après la mise en œuvre du logiciel, avec une période d'adaptation au logiciel, les résultats sont attendus et permettront d'obtenir des données sur la consommation mensuelle globale d'antibiotiques durant l'étude, ou encore d'évaluer secondairement la mortalité hospitalière ou la durée de séjour moyenne (169). Une étude sur la perception de l'équipe de gestion des antimicrobiens, incluant 11 personnes, a indiqué que le SADC était un « bon » système en termes de facilité d'utilisation perçue avec un score global de 77,5/100 (170).

En 2025, bioMérieux a obtenu le marquage CE pour le module APSS de Lumed, garantissant sa conformité aux exigences réglementaires européennes applicables aux dispositifs médicaux (171).

3.4 Outils d'aide à la surveillance des infections

Parallèlement aux outils d'aide à l'antibiogouvernance, des outils spécifiquement consacrés à la surveillance des infections au sein d'un environnement hospitalier ont émergé. En centralisant les données microbiologiques, cliniques, et épidémiologiques, ces solutions apportent un soutien aux équipes de PRI dans leurs différentes missions.

La solution **ICNET** présentée plus haut, permet également une surveillance clinique pour soutenir la prévention et le contrôle des infections au sein d'un établissement de santé. Son utilisation pour gérer la crise sanitaire du COVID-19 a été mise en avant au sein du Dorset County Hospital NHS Foundation Trust à Dorchester en Angleterre. Pendant la pandémie, les infirmières de l'équipe de PRI avaient recours au SADC afin d'identifier les patients infectés ou potentiellement infectés par le SARS-CoV-2, permettant un isolement rapide de ces patients dans un but de limiter la transmission du virus. Le paramétrage d'alertes en fonction des résultats du laboratoire, des expositions et des mouvements des patients permettent une intervention précoce des équipes de PRI (172). Grâce aux connexions avec le SIL et le DME, ICNET permet la surveillance en temps-réel des patient connus pour des statuts infectieux particuliers, le suivi des infections nosocomiales est facilité, ainsi que le suivi des clusters infectieux (161). L'outil représente un réel atout pour faciliter les tâches des équipes de PRI. Malgré une adoption étendue dans de nombreux hôpitaux britanniques, ICNET n'a pas encore connu de déploiement en France.

Le module **ZINC™** de Lumed™ est un logiciel destiné à la surveillance des infections en milieu hospitalier. Utilisé par les équipes de PRI, le logiciel permet d'identifier les états infectieux à l'aide des données extraites directement du DME et du SIL (173). Il traite en temps réel les données bactériologiques, virologiques et mycologiques. Différentes alertes peuvent être émises dans le cadre du suivi des patients connus avec un statut infectieux : des alertes lors d'une admission ou d'une réadmission, d'une sortie de l'établissement ou encore d'un changement de chambre ou d'unité de soins, en cas de non-réalisation des dépistages ou sur des documentations microbiologiques d'intérêt. Ces alertes sont toutes personnalisables selon les besoins des équipes de PRI (174). La gestion des cas groupés et des épidémies est facilitée avec le logiciel, notamment grâce à une configuration personnalisée et une

visualisation optimisée du nombre de prélèvements positifs sur un intervalle spatio-temporel donné. La gestion des BHRe est également valorisée par cette solution, en facilitant l'identification et le suivi des patients colonisés, ainsi que la possibilité d'établir rapidement la liste des patients exposés, évitant ainsi le recours à des recherches manuelles des cas contact. Des rapports épidémiologiques peuvent être générés directement à partir du logiciel, offrant un accès rapide aux indicateurs statistiques de l'établissement pendant une période donnée (173).

La mise en production du logiciel ZINC au CHRU de Nancy a débuté en septembre 2022, après une période comprenant la mise en place du logiciel, l'interconnexion avec les autres logiciels du système d'information, ainsi que la réalisation de tests de validation. Cette étape a été rendue possible grâce à la collaboration entre les équipes de PRI de l'établissement, les équipes informatiques et la société Lumed. (169).

Une enquête a été réalisée auprès des utilisateurs de ZINC au CHRU de Nancy après 10 mois d'utilisation. Plusieurs obstacles ont été identifiés, en particulier liés à l'appropriation du logiciel par l'équipe lors de sa phase de déploiement. Les utilisateurs ont souligné la difficulté de la transition du flux de travail, marquée par la gestion des nombreuses alertes. Malgré ces contraintes initiales qui nécessitent une gestion de projet et un accompagnement aux changements des pratiques, l'intégration du logiciel dans la routine a été associée à une amélioration des pratiques de PRI, avec un gain de temps en termes de réactivité, d'enquête et une meilleure communication avec les services cliniques. La centralisation des données était également un des atouts relevés, contribuant à une meilleure exhaustivité de la surveillance des infections. Enfin, le score global d'utilisabilité était de 85/100, témoignant d'un « bon » système en termes de facilité d'utilisation perçue (175).

L'impact du logiciel ZINC sur la conformité des précautions complémentaires a été évalué à l'aide d'une étude descriptive, de type avant-après, à l'aide des audits de précautions complémentaires réalisés entre septembre 2019 et juillet 2023 au CHRU de Nancy. Avant la mise en place du logiciel, l'équipe de PRI recevait des alertes du laboratoire de microbiologie par mail lorsque l'identification d'une bactérie nécessitant des précautions complémentaires était faite. Une infirmière de l'équipe prenait alors contact avec le service et réalisait un audit à l'aide d'une grille d'évaluation. En

parallèle le laboratoire de microbiologie alertait par téléphone le service dans lequel le patient était hospitalisé. Au cours de la période d'étude, 1 877 alertes répondaient aux critères définis, dont 1 379 ayant fait l'objet d'un audit. En moyenne, 17 audits étaient réalisés chaque mois, et 75 % d'entre eux étaient effectués dans les 48 heures suivant l'émission de l'alerte. Le délai moyen entre l'identification bactérienne et l'alerte a été significativement réduit avec l'utilisation de ZINC, passant de 3 jours en moyenne à 0. L'étude a montré que l'utilisation du logiciel par les équipes de PRI n'a pas eu d'effet immédiat quant à la mise en place des mesures complémentaires dans les services de soins, et cela est expliqué par le fait que les membres de l'équipe de PRI sont les seuls à recevoir les alertes du logiciel en temps réel. Par ailleurs, l'utilisation de ZINC a été associée à un changement de tendance significativement positif concernant la mise en place de différentes mesures complémentaires à long terme. Par exemple, les taux de mise en place des mesures d'hygiène des mains, du port des équipements de protection individuelle et de l'utilisation de produits désinfectants étaient initialement d'environ 75%, puis ont augmenté pour dépasser 80% après l'implémentation de ZINC. Cette amélioration pourrait être attribuée au fait que l'utilisation du logiciel réduirait le temps consacré par les équipes de PRI à la surveillance des infections. Elles peuvent ainsi consacrer davantage de temps aux échanges avec les services de soins et à la mise en place des mesures appropriées (169,176).

Au CHU de Limoges, c'est le logiciel **Nosokos®** qui a été installé en 2021 afin de faciliter la surveillance des infections dans les différentes unités de soins, la gestion des épidémies ou encore la détection et les isolements des patients BHRe (177).

Également connecté au DME et au SIL, le logiciel extrait directement les données et génère des alertes dès que les résultats microbiologiques critiques sont validés (178). L'utilisation du logiciel permet un gain de temps considérable avec une vue simplifiée sur le parcours du patient, le type d'infection incriminée et la porte d'entrée suspectée, ainsi que les micro-organismes isolés et les anti-infectieux prescrits. La personnalisation du tableau de bord est possible pour chaque utilisateur, et la gestion et le suivi des patients BHRe est modulable avec le paramétrage d'alertes en cas de réadmission d'un patient connu par exemple. Chaque alerte est traitée puis validée ou non par un membre de l'équipe. Le logiciel permet également la création des listes de patients contacts, effectuées manuellement auparavant. Nosokos permet le suivi des

épidémies en cours avec une visualisation des cinétiques des épidémies, l'identification des contacts et la visualisation des actions mises en place.

L'équipe de PRI du CHU de Limoges a évalué l'apport du logiciel dans le cadre de la gestion des alertes microbiologiques et des contacts. Le but était d'estimer le gain de temps attribuable à l'utilisation de Nosokos, avec une comparaison de type avant-après. En ce qui concerne la gestion des alertes microbiologiques, une alerte prenait environ 20 minutes, incluant l'extraction des données du patient, la saisie manuelle de ces données dans un tableur Excel, la consultation et la retranscription de l'historique microbiologique du patient et de ses mouvements au sein de l'hôpital. Après la mise en place du logiciel, le temps estimé pour la gestion d'une alerte microbiologique est passé à 8 minutes. Du côté de la gestion des cas contacts incluant la génération manuelle de la liste des contacts prenait en moyenne 2 heures et demie. Après mise en place de logiciel, le temps passé pour gérer cette tâche est passé à 31 minutes. Ce gain de temps mis en évidence a permis de soulager l'équipe de ces tâches chronophages et de se recentrer sur le cœur du métier (179).

L'utilisation du logiciel a également soulagé l'équipe de PRI sur la surveillance SPIADI. Grâce à la remontée automatique des hémocultures positives et du parcours du patient, l'identification facilitée d'une bactériémie associée aux soins permet la création d'une fiche infection, d'une exportation automatique des données puis de la transmission des informations au réseau SPIADI. La création d'une fiche prenait environ 5 à 10 minutes avant la mise en place de Nosokos, pour passer à 1 minute avec l'utilisation de celui-ci (180). L'équipe de PRI du CHU de Limoges prévoit d'étendre cette surveillance à celle des infections en réanimation cardiaque avec une connexion à leur logiciel, ainsi que la surveillance des infections du site opératoire en développant l'algorithme du logiciel (178).

La mise en production de Nosokos au CH de Roubaix a débuté en 2025 au sein de l'unité de gestion du risque infectieux (UGRI). Face à la multiplication des logiciels métiers au sein de l'hôpital, ainsi qu'à la nécessité d'extraire et d'exploiter les données de chacun d'eux – impliquant également une formation spécifique à leur utilisation – la mise en place d'un logiciel centralisé de surveillance des infections s'est vue positionnée comme un soutien majeur pour l'équipe de l'UGRI. En assurant le traitement des données en amont de leur intégration dans les différents logiciels

métiers, cet outil permet d'optimiser l'exploitation des informations et d'alléger la charge de travail de l'équipe. Après environ quatre années pour monter le projet d'implantation de Nosokos, le logiciel a pu être mis en place en routine en 2025 et essuie des retours positifs de la part de l'équipe quant à la facilité d'utilisation et le gain de temps dans les tâches quotidiennes, permet par son utilisation.

D'après la société québécoise Nosotech, le logiciel Nosokos est implanté dans près de 70% des établissements de soins hospitaliers et de longue durée au Québec. Implanté également en Suisse, au Luxembourg, en Belgique et en France, il compte parmi ses utilisateurs français le CHU de Limoges et le CH de Roubaix comme évoqués précédemment, mais aussi le CH Sud Francilien, l'Institut Montsouris, les Hôpitaux universitaires de Marseille (APHM), le CH d'Aix-en-Provence, le CHU de la Martinique et le groupe hospitalier du Havre (164).

Début 2026, Nosotech a obtenu la certification ISO/IEC 27001:2022, norme internationale encadrant les systèmes de management de la sécurité de l'information. Elle vise à garantir la confidentialité des données, leur intégrité et leur disponibilité, et notamment les données patients, les systèmes informatiques hospitaliers, les accès utilisateurs etc...(163,181).

Une troisième solution vient concurrencer le marché français : la société Ascentry (fusion de BYG4LAB® et Finbiosoft) avec **Infection Tracker**, solution experte d'épidémiologie et de PRI. Cette solution est conçue pour rassembler les équipes de microbiologie et de PRI, afin de permettre une détection précoce des épidémies, une surveillance des patients porteurs d'EPC et une identification des cas contacts, grâce à une extraction automatisée des données du laboratoire et du DME. Toutes les données de bactériologie, de virologie et de mycologie peuvent être intégrées dans Infection Tracker. L'algorithme repose sur un ensemble de règles décisionnelles définies par l'utilisateur, permettant d'identifier les profils de patients à risque ou encore certaines résistances bactériennes. Comme perspective d'évolution, la société travaille sur l'intégration d'une IA, destinée à identifier rapidement les contaminations croisées et les clusters infectieux.

Selon Ascentry, la solution Infection Tracker serait implantée dans plus de 90 sites à travers l'Europe (intégrant les anciennes solutions dont Infectio Global qui permettait d'assurer le suivi épidémiologique et infectieux en étant connecté aux différents automates de microbiologie) (182).

À l'échelle nationale, la solution a été déployée au sein du CHU de Caen courant 2024, commercialisée initialement sous le nom de logiciel Ynfectio®. La mise en place de ce logiciel était justifiée par le besoin d'une gestion centralisée, automatisée et personnalisée face aux nombreuses tâches manuelles et chronophages auxquelles faisaient face l'équipe de PRI du CHU de Caen. Cette solution est installée sur le serveur hospitalier puis est accessible via une connexion à internet. Le paramétrage du tableau de bord et des alertes est totalement personnalisable, permettant à l'hygiéniste d'adapter les définitions des infections associées aux soins ou encore de définir les seuils d'alerte selon le type d'infection concerné (174). La plateforme est connectée au DME pour extraire les données patients ainsi que les entrées et sorties de l'établissement, mais aussi au SIL afin d'extraire les résultats du laboratoire de microbiologie. La mise en place de la solution et le bon fonctionnement repose donc sur une étroite collaboration entre hygiéniste, microbiologiste et système informatique hospitalier. La solution facilite la participation aux surveillances et enquêtes nationales grâce au paramétrage de différents questionnaires, pouvant être ensuite exportés et transmis aux réseaux concernés, tout en permettant la réalisation de diverses analyses statistiques en microbiologie.

Plus récemment, la solution Infection Tracker est en cours de déploiement au CHU de Rennes, ce qui permettra d'obtenir prochainement de nouveaux retours d'expérience.

Pour chacune de ces solutions, les retours d'expérience des différents CH soulignent que la mise en place d'un logiciel de PRI requiert un investissement organisationnel conséquent. La constitution d'un dossier permettant de faire valoir le projet auprès de la direction de l'établissement en vue de son acquisition peut s'avérer particulièrement longue, et nécessite un investissement important de la part des équipes impliquées. Une collaboration étroite entre les équipes de PRI, les équipes de la société choisie, avec les services informatiques hospitaliers et les laboratoires de microbiologie, apparaissent comme des éléments indispensables à la réussite et au bon

fonctionnement de ces projets. Par ailleurs, l'utilisation optimale de ces outils dans la pratique quotidienne nécessite une maintenance régulière, incluant des mises à jour continues, tant sur le plan informatique que sur celui du paramétrage des utilisateurs, afin de prendre en compte l'évolution des pratiques professionnelles et des besoins des équipes.

Pour les outils disponibles en France, l'ensemble des résultats de ce travail sont synthétisés sous forme de tableaux récapitulatifs disponibles en annexes.

DISCUSSION

Les résultats de ce travail montrent que les outils numériques autonomes ou intégrés représentent un levier de transformation dans la gestion du risque infectieux, depuis la surveillance épidémiologique, jusqu'à l'aide à la décision clinique.

Concernant les applications ou sites internet à destination des prescripteurs d'anti-infectieux, ceux-ci sont disponibles, accessibles, simples à utiliser et maintenus à jour. Ces outils étant autonomes, ne prennent pas en compte l'épidémiologie locale et les caractéristiques physiopathologiques auxquelles peuvent être confrontés les cliniciens, ce qui limite parfois leur usage (183). La question qui pourrait se poser réside dans le niveau de connaissance de ces outils par les prescripteurs et surtout de leur niveau d'appropriation en pratique quotidienne.

Pour les outils intégrés, l'expérience française est encore limitée à ce jour. Néanmoins, l'automatisation du recueil et de l'analyse des données, qu'elle soit renforcée ou non par l'IA, devrait permettre une détection plus précoce des événements infectieux, une réactivité accrue des équipes et une meilleure coordination entre les différents acteurs pour lutter encore plus efficacement contre l'antibiorésistance.

En hygiène hospitalière, les premières expérimentations sont concluantes avec des réductions significatives de certaines tâches chronophages, libérant ainsi du temps pour les activités à valeur ajoutée comme l'investigation de terrain, la formation des professionnels de santé ou l'accompagnement des équipes de soins (176,179). Au-delà du bénéfice organisationnel, une détection plus rapide des cas pourrait contribuer à limiter la diffusion des infections, réduire les conséquences humaines pour les patients et diminuer les coûts associés pour les établissements de santé.

Concernant le bénéfice supposé dans le suivi biologique, clinique, septique et thérapeutique des patients, des études prospectives sont nécessaires et attendues par les professionnels de santé français, notamment pour les systèmes intégrant des algorithmes d'IA qui doivent démontrer leur impact clinique réel et leur sécurité d'utilisation. La fiabilité des outils doit être au centre des préoccupations, notamment en raison du risque d'hallucinations observé avec certains LLM, susceptibles de produire des réponses cohérentes mais erronées devant des situations complexes. Une attention particulière devra être également portée aux biais algorithmiques pouvant résulter de jeux de données d'entraînement insuffisamment représentatifs de

la diversité des populations prises en charge. L'acceptabilité de ces outils dépendra de leur capacité d'explicabilité, indispensable pour renforcer la confiance des professionnels de santé (76). L'évaluation continue des performances, la supervision humaine et la traçabilité des décisions apparaissent comme des conditions essentielles à une utilisation sûre et acceptable de ces technologies.

L'investissement financier initial assez conséquent pour acquérir ces solutions numériques intégrées représente la principale limite actuelle pour les établissements français, alors que les pays outre-Atlantique et outre-Manche ont sauté le cap depuis plusieurs années (164,165). Espérons que l'ambition récemment affichée par les pouvoirs publics notamment dans le cadre de la « Stratégie d'accélération santé numérique - France 2030 », puisse soutenir les établissements dans leurs projets d'intégration et d'évaluation de ces outils (184).

Au-delà du coût de mise en place, d'autres enjeux à part entière sont à considérer. Le premier, véritable clé de voûte en gestion de projet, est la nécessité de définir en amont et de manière réfléchie, un plan de déploiement et d'accompagnement au changement de pratiques pour les professionnels de santé, dans la mesure où de telles solutions viennent modifier les organisations.

Les enjeux en matière de protection des données, de transparence des algorithmes et de sécurité des patients sont également importants. Si ces aspects font aujourd'hui l'objet d'un encadrement réglementaire croissant, notamment au niveau européen, leur mise en œuvre concrète demeure un défi pour les établissements de santé (75). Par ailleurs, malgré leurs promesses et leurs performances, les outils numériques ne peuvent être envisagés comme un substitut aux professionnels de santé. Les différents outils intégrés présentés dans ce travail montrent que leur valeur réside principalement dans la capacité à assister et renforcer l'action des équipes, et non pas les remplacer (76).

En hygiène hospitalière par exemple, la validation des alertes, l'interprétation des signaux épidémiques, la priorisation des actions à mettre en œuvre, l'organisation du dépistage des contacts ou encore l'accompagnement quotidien des services nécessitent une expertise humaine qui ne peut être automatisée. Ces notions s'étendent également aux autres domaines impliqués dans la gestion du risque infectieux : microbiologie, infectiologie clinique et pharmacie hospitalière. Le jugement

clinique reste néanmoins indispensable afin de mettre en relation les informations avec les contextes épidémiologiques et les contraintes locales. Ainsi, le développement du numérique doit être envisagé comme un moyen d'augmenter les capacités des professionnels plutôt que de s'y substituer. Cette complémentarité entre outils numériques et expertise humaine apparaît comme une condition essentielle à l'amélioration durable de la gestion du risque infectieux.

Au-delà du périmètre français, les outils numériques pourraient également représenter une opportunité majeure pour les pays à ressources limitées, où les tensions en ressources humaines et les contraintes d'accès aux soins sont souvent plus marquées. La surveillance des maladies infectieuses, le diagnostic précoce et la lutte contre l'antibiorésistance constituent des enjeux majeurs de santé publique, alors que les moyens disponibles sont souvent insuffisants dans ces pays. Les outils d'aide à la décision clinique et à la prescription des anti-infectieux illustrent également le potentiel du numérique pour soutenir les politiques de BUA au niveau mondial. Antibioclic Afrique en est un exemple : adapté de l'outil Antibioclic développé en France, il a été déployé en 2020, dans le but initial d'accompagner les professionnels de santé dans la prise en charge des cas de COVID-19 en Afrique de l'Ouest. Depuis, l'outil a évolué pour proposer des recommandations de prise en charge et de traitement de pathologies infectieuses, avec la volonté de contribuer à la lutte contre l'antibiorésistance (185). Dans cette même perspective, l'association Médecins Sans Frontières (MSF) a développé AntibioGo, un outil d'aide à l'interprétation d'antibiogrammes destiné aux techniciens de laboratoire exerçant dans des pays où l'accès à une expertise microbiologique est limité, et actuellement utilisé par plusieurs laboratoires de MSF (186). Ces exemples illustrent le potentiel des outils numériques pour soutenir la lutte contre l'antibiorésistance dans des contextes où l'accès à l'expertise infectiologique peut être limité. Néanmoins, leur déploiement devra tenir compte des contraintes propres à ces territoires, notamment en matière d'infrastructures numériques, de connectivité, de maintenance des équipements et de formation des utilisateurs.

CONCLUSION

L'état des lieux présenté dans ce travail a permis de mettre en lumière les nombreux sites internet et applications autonomes disponibles en France pour les professionnels de santé dans le cadre du bon usage des anti-infectieux. Il est important de souligner que ces applicatifs sont dans la grande majorité gratuits ou très accessibles, et qu'ils sont à l'initiative principalement d'organisations publiques (CHU, CH, CPias, CRAtb).

Concernant l'infectiovigilance et l'antibiogouvernance en établissements de santé, cet état des lieux a montré que des outils intégrés prometteurs existent d'ores et déjà sur le territoire français, mais que leur déploiement demeure limité, tout comme leurs évaluations. Ce travail met en lumière à la fois les défis auxquels les structures et équipes sont quotidiennement confrontées, et les perspectives que pourraient apporter les solutions numériques et l'IA pour renforcer la prévention, la surveillance du risque infectieux et le bon usage des antibiotiques. Ces perspectives restent toutefois conditionnées à une validation sécurisée en pratique clinique : la valeur de ces outils ne repose pas uniquement sur leurs performances techniques mais sur leur capacité à s'intégrer dans une organisation de soins centrée sur l'expertise humaine, la sécurité des patients et le respect des exigences éthiques et réglementaires.

L'enjeu des prochaines années ne réside pas dans la multiplication des outils numériques, mais dans leur intégration réfléchie au sein des organisations de soins après évaluation clinique voire médico-économique, afin de mettre à disposition des professionnels de santé des outils fiables, explicables et évalués, capables d'améliorer durablement la prévention et la maîtrise du risque infectieux.

ANNEXES

Annexe 1: Tableau récapitulatif des outils numériques d'aide au diagnostic au laboratoire de microbiologie, disponibles en France

OUTIL	TYPE D'ALGORITHME NUMÉRIQUE	CERTIFICATION	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
Logiciel Phenomatrix® (WASPLab®)	• Système expert basé sur des règles • IA : apprentissage automatique	• Approbation de la FDA (96) • Marquage CE (95)	• Automatisation de la lecture des cultures bactériennes sur milieux gélosés • Standardisation • Règles paramétrables en fonction des besoins du laboratoire • Gain de temps (93,102)	Investissement financier
Module ReadA (BD Kiestra™)		• Marquage CE (102) • Certification ISO/IEC 27001:2022 (103)		

Annexe 2 : Tableau récapitulatif des outils numériques d'aide dans la prise en charge du risque infectieux et d'aide à la prescription, disponibles en France

OUTIL	TYPE D'OUTIL	BASES DE RÉFÉRENCE	CERTIFICATION	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
OUTILS D'AIDE À LA DÉCISION CLINIQUE					
Sepsi Score®	Logiciel : IA avec apprentissage automatique et classification binaire (134)	<i>Non applicable</i>	<i>Pas d'information à la date de l'écriture du manuscrit</i>	Prédiction du sepsis : - Étude rétrospective : sensibilité 84%, spécificité 98,2% dans la détection du sepsis (133) - Étude prospective en cours	
OUTILS D'AIDE À LA DÉCISION CLINIQUE ET À LA PRESCRIPTION D'ANTIMICROBIENS					
<i>Outils autonomes</i>					
Clinical Key® Clinical Key IA	- Logiciel - Site internet - IA générative : LLM (Clinical Key AI)	Basé sur des recommandations internationales et nationales	<i>Non applicable</i>	- Plateforme d'accès à un large panel de connaissances médicales - Site internet gratuit après inscription - Logiciel IA : interface de recherche conversationnelle, synthèse automatique des informations (143–146)	Logiciel IA nécessitant une adhésion annuelle individuelle de 300€ ou adhésion institutionnelle
Antibiogarde®	- Logiciel - Site internet - Application mobile (Apple uniquement)	Basé sur les recommandations de sociétés savantes françaises	<i>Non applicable</i>	- Intégration au système informatique hospitalier possible - Personnalisable par l'équipe anti-infectieuse (147)	Adhésion institutionnelle ou adhésion individuelle annuelle d'environ 8€
Antibiogilar	- Site internet - Application mobile	Basé sur les recommandations des CH de Tourcoing et Béthune Basé sur les recommandations de sociétés savantes, Pilly et publications récentes	<i>Non applicable</i>	- Aide à la prescription d'anti-infectieux en fonction de différents paramètres - Fiches avec recommandations de prise en charge des pathologies infectieuses - Outil gratuit (148)	

Antibioguide	• Site internet • Application mobile	Basé sur les recommandations d'AntibioEst	<i>Non applicable</i>	• Aide à la prescription d'anti-infectieux • Fiches avec recommandations de prise en charge des pathologies infectieuses • Outil gratuit (149)
Applibiotic	• Site internet • Application mobile	Basé sur les recommandations de sociétés savantes, de la HAS et de l'ANSM	<i>Non applicable</i>	• Aide à la prescription d'anti-infectieux • Outil gratuit (150)
e-POPI©	• Site internet • Application mobile	Basé sur les recommandations du CMIT	<i>Non applicable</i>	• Guide complet sur les pathologies infectieuses • Adhésion annuelle individuelle de 33€ (151)
Antibioclic	Site internet	Basé sur les recommandations de sociétés savantes et des autorités sanitaires françaises (CMIT, HAS, SPILF, COREB)	<i>Non applicable</i>	• Aide à la prise en charge d'une pathologie infectieuse • À destination principalement de la médecine de ville • Possibilité de renseigner les données du patient et la documentation microbiologique • Outil gratuit (153–155)
VIH Clic	Site internet	Basé sur les recommandations de sociétés savantes et des autorités sanitaires (Conseil national du sida et des hépatites virales, CMIT, HAS)	<i>Non applicable</i>	• Aide à la prise en charge des patients vivants avec le VIH • Outil gratuit • Fiches disponibles à destination des patients (158)
Antibiohelp	Site internet	Basé sur les recommandations de sociétés savantes et des autorités sanitaires françaises	<i>Non applicable</i>	• Liste des options thérapeutiques classées par ordre d'importance et propriétés des antibiotiques proposés disponibles • À destination principalement de la médecine de ville • En cours d'étude (157)
Bug.Control	• Site internet • Application mobile	Basé sur les recommandations 2023 du CMIT, de la SF2H, de la mission nationale COREB, et des recommandations internationales canadiennes et australiennes	<i>Non applicable</i>	• Outil informatif sur la prise en charge des infections à risque de transmission • Outil gratuit (159)

Outils intégrés					
Lumed™ module APSS™	Logiciel intégré : système expert et IA déterministe	<i>Non applicable</i>	Marquage CE (171)	• Connexion normée au DME et au SIL • Pilotage des alertes infectiologiques • Priorisation des alertes infectieuses (167,169,170)	• Investissement financier • Nécessité de prioriser les alertes pour ne pas avoir de surcharge due à la puissance de l'outil
Antibiokos	Logiciel intégré	<i>Non applicable</i>	Certification ISO/IEC 27001:2022	• Connexion au DME et au SIL • Automatisation de la validation pharmaceutique des prescriptions (177)	• Investissement financier • Déploiement limité au Canada et en Belgique
OUTILS D'AIDE À LA SURVEILLANCE DES INFECTIONS					
Outils intégrés					
Lumed™ module ZINC™	Logiciel intégré : système expert et IA déterministe	<i>Non applicable</i>	<i>Pas d'information à la date de l'écriture du manuscrit</i>	• Connexion normée au DME et au SIL • Suivi facilité des patients porteurs d'infections nosocomiales • Gain de temps prouvé dans les tâches effectuées par les équipes (169,173,176)	Investissement financier
Nosokos	Logiciel intégré	<i>Non applicable</i>	Certification ISO/IEC 27001:2022	• Connexion au DME et au SIL • Suivi facilité des patients porteurs d'infections nosocomiales • Gain de temps prouvé dans les tâches effectuées par les équipes (177,179,180)	Investissement financier
Infection Tracker	Logiciel intégré	<i>Non applicable</i>	<i>Pas d'information à la date de l'écriture du manuscrit</i>	• Connexion au DME et au SIL • Suivi facilité des patients porteurs d'infections nosocomiales • Accès via connexion internet après installation sur le serveur informatique hospitalier (182)	Investissement financier

BIBLIOGRAPHIE

1. Organisation mondiale de la santé, Organisation mondiale de la santé animale, Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, Programme des nations unies pour l'environnement. One Health Joint Plan of Action, 2022–2026. FAO; UNEP; WHO; World Organisation for Animal Health (WOAH) (founded as OIE); oct 2022. Disponible sur: <http://www.fao.org/documents/card/en/c/cc2289en>
2. Ministère des solidarités et de la santé. Strategie nationale 2022-2025 prevention des infections et de l'antibioresistance. janv 2022. Disponible sur: https://sante.gouv.fr/IMG/pdf/strategie_nationale_2022-2025_prevention_des_infections_et_de_l_antibioresistance.pdf
3. Gouvernement français. Feuille de route interministerielle 2024-2034 antibioresistance et resistance aux antimicrobiens. sept 2024. Disponible sur: https://sante.gouv.fr/IMG/pdf/feuille_de_route_interministerielle_2024_-_2034_antibioresistance_et_resistance_aux_antimicrobiens_-sept_2024.pdf
4. Santé publique France. E-sin : signalement externe des infections nosocomiales; [consulté le 11 févr 2026]. Disponible sur: <https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/infections-associees-aux-soins-et-resistance-aux-antibiotiques/infections-associees-aux-soins/articles/e-sin-signalement-externe-des-infections-nosocomiales>
5. Collège des universitaires de Maladies Infectieuses et Tropicales (CMIT). Item 004 : La sécurité du patient. La gestion des risques. Les événements indésirables associés aux soins (EIAS). Dans: Pilly étudiant : maladies infectieuses et tropicales . 2^e éd. 2023.
6. Organisation mondiale de la santé. Global report on infection prevention and control. Genève; 2022. Disponible sur: <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/af40baee-3ab1-423d-a3d4-3bca91c888a6/content>
7. Ministère de la Santé et des Sports. Infections nosocomiales : le dossier. 2009. Disponible sur: https://sante.gouv.fr/IMG/pdf/Infections_Nosocomiales_le_dossier_2009.pdf
8. Ministère de la Santé, de la Famille, de l'Autonomie et des Personnes handicapées. Infections associées aux soins : questions-réponses; [consulté le 1 févr 2026]. Disponible sur: <https://sante.gouv.fr/soins-et-maladies/prises-en-charge-specialisees/article/infections-associees-aux-soins-questions-reponses>
9. Société française d'hygiène hospitalière (SF2H). Prévenir la transmission des infections. mai 2025. Disponible sur: https://www.sf2h.net/k-stock/data/uploads/2025/05/prevenir_la_transmission_des_infections_formateurs-v30-04-25.pdf
10. Haut conseil de la santé publique. Prévention de la transmission croisée des « Bactéries Hautement Résistantes aux antibiotiques émergentes » (BHRe). Rapport de l'HCSP. Paris; juill 2013. Disponible sur: <https://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=372>

11. Organisation mondiale de la santé. Key facts and figures : World hand hygiene day; [consulté le 7 févr 2026]. Disponible sur: <https://www.who.int/campaigns/world-hand-hygiene-day/key-facts-and-figures>
12. Organisation mondiale de la santé. Global report on infection prevention and control 2024. 2024. Disponible sur: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240103986>
13. Raoofi S, Pashazadeh Kan F, Rafiei S, Hosseinipalangi Z, Noorani Mejareh Z, Khani S, et al. Global prevalence of nosocomial infection: A systematic review and meta-analysis. PLOS One. 27 janv 2023 [consulté le 7 févr 2026]; Disponible sur: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9882897/>
14. Decoster A, Grandbastien B, Demory MF, Leclercq V, Alfandari S, Regional Network 'Review of nosocomial infection-related mortality'. A prospective study of nosocomial-infection-related mortality assessed through mortality reviews in 14 hospitals in Northern France. The Journal of Hospital Infection. avr 2012;
15. Haute autorité de santé. Évaluation de la prévention des infections associées aux soins selon le référentiel de certification. 2020. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2020-11/fiche_pedagogique_prevention_infection_soins_certification.pdf
16. Santé publique France. Principaux résultats de l'enquête nationale de prévalence 2022 des infections nosocomiales et des traitements anti-infectieux en établissement de santé. mai 2023. Disponible sur: <https://www.santepubliquefrance.fr/import/principaux-resultats-de-l-enquete-nationale-de-prevalence-2022-des-infections-nosocomiales-et-des-traitements-anti-infectieux-en-etablissement-de-s>
17. République française. Décret n°88-657 du 6 mai 1988 relatif à l'organisation de la surveillance et de la prévention des infections nosocomiales dans les établissements d'hospitalisation publics et privés participant au service public hospitalier. Code de la santé publique, 88-657 6 mai 1988. Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000000504841#>
18. Société française d'hygiène hospitalière (SF2H). Surveiller et prévenir les infections associées aux soins. 2010. Disponible sur: https://www.sf2h.net/k-stock/data/uploads/2010/09/SF2H_surveiller-et-prevenir-les-IAS-2010.pdf
19. Décret n° 2017-129 du 3 février 2017 relatif à la prévention des infections associées aux soins. 2017-129 3 févr 2017.
20. Ministère du Travail, de l'emploi et de la santé. Circulaire DGOS/PF2 no 2011-416 du 18 novembre 2011 en vue de l'application du décret no 2010-1408 du 12 novembre 2010 relatif à la lutte contre les événements indésirables associés aux soins dans les établissements de santé. Code de la santé publique 18 nov 2011. Disponible sur: https://sante.gouv.fr/fichiers/bo/2011/11-12/ste_20110012_0100_0075.pdf?TSPD_101_R0=087dc22938ab2000cbe4a894ae05a9008efa85a6faca97e2dac6767505b00b333e9454f01cb83c3b08ad33f2671430007c36b8a44b3cabde2f355a012192235aa913d5ef25c7645841f6fe3769f5eac854c6142af834f4ece024b2578f603a6f

21. Société française d'hygiène hospitalière (SF2H). Référentiel métier et compétences : spécialistes en hygiène, prévention, contrôle de l'infection en milieu de soins. 2018. Disponible sur: https://www.sf2h.net/k-stock/data/uploads/2018/03/Référentiel_Métier_DEF_05.04_2018.pdf
22. République française. Sous-section 1 : Organisation de la lutte contre les infections nosocomiales (Articles R711-1-1 à R711-1-10). Code de la santé publique 11 déc 1999. Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/codes/id/LEGIARTI000006802524/1999-12-11>
23. Société française d'hygiène hospitalière (SF2H). Les éléments clés des programmes de prévention et contrôle des infections (PCI) dans les établissements de santé et médico-sociaux. 2022. Disponible sur: https://www.sf2h.net/k-stock/data/uploads/2023/10/reponse_saisine_mss_pci_eoh_emh_sf2h_vdef_1.pdf
24. Comité technique national des infections nosocomiales. 100 recommandations pour la surveillance et la prévention des infections nosocomiales. Ministère de la santé; 1999. Disponible sur: https://sante.gouv.fr/IMG/pdf/100_recommandations.pdf
25. Société française d'hygiène hospitalière (SF2H). Actualisation des précautions standard. Etablissements de santé, établissements médico-sociaux, soins de ville. juin 2017. Disponible sur: https://www.sf2h.net/k-stock/data/uploads/2017/06/HY_XXV_PS_versionSF2H.pdf
26. République française. Décret n°2001-671 du 26 juillet 2001 relatif à la lutte contre les infections nosocomiales dans les établissements de santé et modifiant le code de la santé publique (deuxième partie : Décrets en Conseil d'Etat). Code de la santé publique 26 juill 2001. Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000000579496>
27. Ministère du Travail, de l'emploi et de la santé. Instruction N°DGOS/PF2/DGS/RI3/2012/75 du 13 février 2012 relative au signalement externe des infections nosocomiales par les établissements de santé et les structures mentionnées à l'article R.6111-12 du Code de la santé publique ainsi qu'aux modalités de gestion des situations signalées. 13 févr 2012. Disponible sur: https://www.legifrance.gouv.fr/download/file/pdf/cir_34683/CIRC
28. Santé publique France. EPIBAC; [consulté le 13 févr 2026]. Disponible sur: <https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/maladies-et-infections-respiratoires/infections-a-pneumocoque/articles/epibac>
29. Organisation Mondiale de la Santé. Sepsis; 3 mai 2024 [consulté le 20 déc 2025]. Disponible sur: <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/sepsis>
30. Société de pathologie infectieuse de la langue française. Info antibio n°68 juin 2016 : nouvelles définitions du sepsis. juin 2016. Disponible sur: <https://www.infectiologie.com/UserFiles/File/spilf/atb/info-antibio/info-antibio-2016-06.pdf>
31. Haute Autorité de Santé. Prise en charge du sepsis du nouveau-né, de l'enfant et de l'adulte : recommandations pour un parcours de soins intégré. janv 2025. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2025-02/reco_sepsis.pdf

32. Evans L, Rhodes A, Alhazzani W, Antonelli M, Coopersmith CM, French C, et al. Surviving sepsis campaign: international guidelines for management of sepsis and septic shock 2021. *Intensive Care Medicine*. 2021;47(11):1181-247.
33. Qiu X, Lei YP, Zhou RX. SIRS, SOFA, qSOFA, and NEWS in the diagnosis of sepsis and prediction of adverse outcomes: a systematic review and meta-analysis. *Expert Review of Anti-Infective Therapy*. 2023;21(8):891-900.
34. Evans L, Rhodes A, Alhazzani W, Antonelli M, Coopersmith CM, French C, et al. Surviving sepsis campaign: international guidelines for management of sepsis and septic shock 2021. *Intensive Care Medicine*. nov 2021;47(11):1181-247.
35. Ministère de la Santé, de la Famille, de l'Autonomie et des Personnes handicapées. Prévention et prise en charge du sepsis; [consulté le 11 févr 2026]. Disponible sur: <https://sante.gouv.fr/soins-et-maladies/prises-en-charge-specialisees/article/prevention-et-prise-en-charge-du-sepsis>
36. Al Rahmoun M, Sabaté-Elabbadi A, Guillemot D, Brun-Buisson C, Watier L. Impacts of the COVID-19 pandemic on sepsis incidence, etiology and hospitalization costs in France: a retrospective observational study. *BMC Infectious Diseases*. 29 avr 2025;25(1):627.
37. Ministère de la Santé, de la Famille, de l'Autonomie et des Personnes handicapées. L'antibiorésistance: pourquoi est-ce si grave?; [consulté le 16 nov 2025]. Disponible sur: <https://sante.gouv.fr/prevention-en-sante/les-antibiotiques-des-medicaments-essentiels-a-preserver/des-antibiotiques-a-l-antibioresistance/article/l-antibioresistance-pourquoi-est-ce-si-grave>
38. Santé publique France. Résistance aux antibiotiques; [consulté le 31 janv 2026]. Disponible sur: <https://www.santepubliquefrance.fr/resistance-aux-antibiotiques>
39. L'OMS met à jour la liste des bactéries résistantes aux médicaments qui représentent la plus grande menace pour la santé humaine; [consulté le 21 nov 2025]. Disponible sur: <https://www.who.int/fr/news/item/17-05-2024-who-updates-list-of-drug-resistant-bacteria-most-threatening-to-human-health>
40. Grandbastien B. Bactéries multirésistantes et hautement résistantes aux antibiotiques: le défi du XXI^e siècle. *ADSP Actualité et dossier en santé publique*. juin 2014;(n° 87):pp.7-9.
41. Haut conseil de la santé publique. Actualisation des recommandations relatives aux BHRé. déc 2019. Disponible sur: <https://www.hcsp.fr/Explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=758>
42. Santé publique France. Prévention de la résistance aux antibiotiques: une démarche « Une seule santé ». Novembre 2025. nov 2025. Disponible sur: <https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/infections-associees-aux-soins-et-resistance-aux-antibiotiques/resistance-aux-antibiotiques/documents/rapport-synthese/prevention-de-la-resistance-aux-antibiotiques-une-demarche-une-seule-sante-.novembre-2025>
43. Santé publique France. Surveillance de la consommation des antibiotiques, des antifongiques et des résistances bactériennes en établissement de santé. Mission

SPARES. Résultats 2024. mars 2026. Disponible sur: <https://www.santepubliquefrance.fr/infections-associees-aux-soins/rapportsynthese/surveillance-de-la-consommation-des-antibiotiques-des-antifongiques-et-des-resistances-bacteriennes>

44. Organisation mondiale de la santé. Global antibiotic resistance surveillance report 2025. 2025. Disponible sur: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240116337>

45. European centre for disease prevention and control. Antimicrobial consumption in the EU/EEA (ESAC-Net) - Annual Epidemiological Report 2024. nov 2025. Disponible sur: <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/antimicrobial-consumption-eueea-esac-net-annual-epidemiological-report-2024>

46. Haute autorité de santé. Choix et durées d'antibiothérapies préconisées dans les infections bactériennes courantes. 2021. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2024-08/choix_et_durees_dantibiotherapie_synthese_actualisation_aout_2024__mel_v2.pdf

47. Ministère de la santé et de la prévention. Arrêté du 18 novembre 2022 fixant le cahier des charges des centres régionaux en antibiothérapie. Disponible sur: https://www.legifrance.gouv.fr/download/file/7z1KDpHASRtKEc38brbgoGALoKttP2TeR592UHmPykU=/JOE_TEXTE

48. Ministère de la santé et de la prévention. Décret n°2022-1445 du 18 novembre 2022 relatif aux centres régionaux en antibiothérapie. 18 nov 2022. Disponible sur: https://www.legifrance.gouv.fr/download/file/7z1KDpHASRtKEc38brbgoMZNGXQtQ4_-AdiUtBP5Gmw=/JOE_TEXTE

49. Organisation mondiale de la santé. Une seule santé; 23 oct 2023 [consulté le 22 mars 2026]. Disponible sur: <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/one-health>

50. Haute autorité de santé. Comprendre la sécurité du patient; [consulté le 13 févr 2026]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/jcms/c_2582468/fr/comprendre-la-securite-du-patient

51. Ministère de la Santé, de la Famille, de l'Autonomie et des Personnes handicapées. Iatrogénie; [consulté le 13 févr 2026]. Disponible sur: <https://sante.gouv.fr/soins-et-maladies/medicaments/glossaire/article/iatrogenie>

52. Labetoulle M. La iatrogénie : quelle ampleur, pourquoi et comment la réduire ? Journal Français d'Ophtalmologie. janv 2009;32(1):79-82.

53. Haute autorité de santé. L'analyse des événements indésirables associés aux soins (EIAS). sept 2021. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2021-09/guide_lanalyse_des_evenements_indesirables_associes_aux_soins_eias.pdf

54. Organisation mondiale de la santé. Projet de plan d'action mondial pour la sécurité des patients 2021-2030 : vers l'élimination des préjudices évitables dans le cadre des soins de santé. août 2021. Disponible sur:

<https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/6a6b7ff7-f15d-4c5b-aac2-22a238022bcb/content>

55. République française. Décret n° 2016-1606 du 25 novembre 2016 relatif à la déclaration des événements indésirables graves associés à des soins et aux structures régionales d'appui à la qualité des soins et à la sécurité des patients. Code de la santé publique 25 nov 2016. Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000033479591>

56. Varin R, Doucet J. Pertinence des prescriptions médicamenteuses et risque iatrogène. Actualité et dossier en santé publique. Haut Conseil de la santé publique; 2016;(97):37-40.

57. Ministère de la Santé, de la Famille, de l'Autonomie et des Personnes handicapées. La pharmacovigilance; [consulté le 13 févr 2026]. Disponible sur: <https://sante.gouv.fr/soins-et-maladies/medicaments/la-surveillance-des-medicaments/article/la-pharmacovigilance>

58. Organisation mondiale de la santé. Sécurité des patients; 11 sept 2023 [consulté le 13 févr 2026]. Disponible sur: <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/patient-safety>

59. Enquête nationale sur les événements indésirables graves associés aux soins dans les établissements de santé (ENEIS) 3 - Description des résultats 2019. Ministère des solidarités et de la santé; 2019. Disponible sur: https://sante.gouv.fr/IMG/pdf/eneis_3_2019_.pdf

60. Ministère de la Santé, de la Famille, de l'Autonomie et des Personnes handicapées. Numérique et offre de soins; [consulté le 14 févr 2026]. Disponible sur: <https://sante.gouv.fr/systeme-de-sante/numerique-en-sante/usages-du-numerique-dans-l-offre-de-soins/article/numerique-et-offre-de-soins>

61. Furst F. Histoire de l'intelligence artificielle. [consulté le 18 oct 2025]. Disponible sur: https://home.mis.u-picardie.fr/~furst/docs/6-Age_raison_IA.pdf

62. Inserm. Intelligence artificielle et santé; [consulté le 14 févr 2026]. Disponible sur: <https://www.inserm.fr/dossier/intelligence-artificielle-et-sante/>

63. Parlement européen. Intelligence artificielle : définition et utilisation; 7 sept 2020 [consulté le 14 févr 2026]. Disponible sur: <https://www.europarl.europa.eu/topics/fr/article/20200827STO85804/intelligence-artificielle-definition-et-utilisation>

64. Theodosiou AA, Read RC. Artificial intelligence, machine learning and deep learning: Potential resources for the infection clinician. Journal of Infection. Elsevier; 1 oct 2023;87(4):287-94.

65. SAP. Qu'est-ce que la Machine Learning ? Définition et exemples; [consulté le 14 févr 2026]. Disponible sur: <https://www.sap.com/france/products/artificial-intelligence/what-is-machine-learning.html>

66. Ministère de l'Éducation nationale. Vocabulaire de l'intelligence artificielle; 7 févr 2019 [consulté le 14 févr 2026]. Disponible sur: <https://www.education.gouv.fr/bo/19/Hebdo6/CTNR1832601K.htm>
67. John. L'urgence légale de l'IA déterministe: quand la prédictibilité devient impérative en B2B. INTELLIGENCE-ARTIFICIELLE.COM. 2026 [consulté le 29 mai 2026]. Disponible sur: <https://intelligence-artificielle.com/lurgence-legale-de-lia-deterministe/>
68. Haute autorité de santé. E-santé; [consulté le 14 févr 2026]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/jcms/p_3460778/en/e-sante
69. Centers for disease control and prevention. Clinical decision support systems; [consulté le 14 févr 2026]. Disponible sur: <https://hdsbpc.cdc.gov/s/article/Clinical-Decision-Support-Systems>
70. Séroussi B, Bouaud J. Systèmes informatiques d'aide à la décision en médecine : panorama des approches utilisant les données et les connaissances. Pratique Neurologique - FMC. 1 déc 2014;5(4):303-16.
71. Leto. Données de santé et RGPD : guide de conformité; [consulté le 12 juin 2026]. Disponible sur: <https://www.letto.legal/guides/rgpd-et-sante>
72. Loi n° 78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés. Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000000886460/>
73. Article L1110-4. Code de la santé publique. Disponible sur: https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000043895798
74. Agence du Numérique en SantéFondements de la doctrine du numérique en santé; [consulté le 22 juin 2026]. Disponible sur: <https://esante.gouv.fr/doctrine/fondements>
75. EU Artificial Intelligence Act. Loi sur l'intelligence artificielle de l'UE - Développements et analyses actualisés de la loi sur l'intelligence artificielle de l'UE; [consulté le 15 juin 2026]. Disponible sur: <https://artificialintelligenceact.eu/fr/>
76. Morquin D, Crabol Y, Dinh A, Goupil de Bouillé J, Abbara S. Artificial intelligence and infectious diseases: Scope and perspectives. Infectious Diseases Now. 1 nov 2025;55(7):105131.
77. Guichet National Innovation et Usage eSanté. Le marquage CE, par où commencer?; 14 juin 2022 [consulté le 22 juin 2026]. Disponible sur: <https://gni.us.esante.gouv.fr/fr/le-dispositif-medical-numerique/le-marquage-ce-par-ou-commencer>
78. Lucet J. Quelle surveillance des infections nosocomiales en réanimation? Réanimation. mai 2008;17(3):267-74.
79. NNIS System. National Nosocomial Infections Surveillance (NNIS) System Report, data summary from January 1992 through June 2004, issued October 2004. American Journal of Infection Control. Elsevier; déc 2004;32(8):470-85.

80. Réseau d'alerte, d'investigation et de surveillance des infections nosocomiales (RAISIN). Enquête de prévalence nationale 2001 : résultats. oct 2003. Disponible sur: <https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/infections-associees-aux-soins-et-resistance-aux-antibiotiques/infections-associees-aux-soins/reseau-d-alerte-d-investigation-et-de-surveillance-des-infections-nosocomiales-raisin-.enquete-de-prevalence-nationale-2001.-resultats>
81. European centre for disease prevention and control. European surveillance of healthcare-associated infections in intensive care units. Publications Office of the European Union; 2015. Disponible sur: <https://data.europa.eu/doi/10.2900/371526>
82. CNIL. Entrepôts de données de santé - Cartographie des acteurs qui en sont responsables en France; [consulté le 24 mars 2026]. Disponible sur: <https://carto-eds.beta.cnil.fr/qu-est-ce-qu-un-eds>
83. van der Werff SD, van Rooden SM, Henriksson A, Behnke M, Aghdassi SJS, van Mourik MSM, et al. The future of healthcare-associated infection surveillance: Automated surveillance and using the potential of artificial intelligence. *Journal of Internal Medicine*. août 2025;298(2):54-77.
84. Tegomo B. The Physician AI Handbook : AI in Medicine; 2025 [consulté le 4 janv 2026]. Disponible sur: <https://physicianaihandbook.com/>
85. Buchanan BG, Shortliffe EH. Rule-Based Expert Systems: The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project. Addison-Wesley. 1984 [consulté le 17 févr 2026]. Disponible sur: <https://people.dbmi.columbia.edu/~ehs7001/Buchanan-Shortliffe-1984/MYCIN%20Book.htm>
86. Clancey WJ, Letsinger R. Neomycin: Reconfiguring A Rule-Based Expert System for Application to Teaching. Stanford CA : Stanford University; mai 1982. Disponible sur: <http://i.stanford.edu/pub/cstr/reports/cs/tr/82/908/CS-TR-82-908.pdf>
87. Miller RA, Pople HE, Myers JD. Internist-I, an Experimental Computer-Based Diagnostic Consultant for General Internal Medicine. *New England Journal of Medicine*. Massachusetts Medical Society; 19 août 1982;307(8):468-76.
88. Barnett GO, Cimino JJ, Hupp JA, Hoffer EP. DXplain: An Evolving Diagnostic Decision-Support System. *JAMA*. 3 juill 1987;258(1):67-74.
89. Gardner RM, Pryor TA, Warner HR. The HELP hospital information system: update 1998. *International Journal of Medical Informatics*. 1 juin 1999;54(3):169-82.
90. Staccini P. Systèmes d'information hospitaliers (S.I.H.). 2006 [consulté le 25 janv 2026]. Disponible sur: https://archives.uness.fr/sites/campus-unf3s-2015/UNF3Smiroir/c2i/c2i/Nice_STACCINI_Pascal_P03/STACCINI_Pascal_P03.pdf
91. Peiffer-Smadja N, Dellièvre S, Rodriguez C, Birgand G, Lescure FX, Fourati S, et al. Machine learning in the clinical microbiology laboratory: has the time come for routine practice? *Clinical Microbiology and Infection*. oct 2020;26(10):1300-9.
92. Rapid Microbiology. WASP - a New Revolutionary System for Automatic Planting and; 14 févr 2008 [consulté le 24 mars 2026]. Disponible sur:

<https://www.rapidmicrobiology.com/news/wasp-a-new-revolutionary-system-for-automatic-planting-and-streaking-of-microbiology-samples>

93. Biomérieux. WASPLab®; [consulté le 24 mars 2026]. Disponible sur: <https://www.biomerieux.com/fr/fr/notre-offre/produits-clinique/wasplab-phenomatrix-colibri.html>

94. COPAN. COPAN Announces the Launch of WASPLab™; 28 avr 2011 [consulté le 24 mars 2026]. Disponible sur: <https://www.copanusa.com/company-news/copan-announces-the-launch-of-wasplab/>

95. COPAN. COPAN WASP Regulatory milestones: 2022; [consulté le 24 mars 2026]. Disponible sur: <https://www.copangroup.com/copan-wasp-regulatory-milestones-2022/>

96. COPANPhenoMATRIX® Receives FDA 510(k) Clearance: Advancing Digital Microbiology with Confidence; [consulté le 24 mars 2026]. Disponible sur: <https://www.copanusa.com/company-news/phenomatrix-receives-fda-510k-clearance-advancing-digital-microbiology-with-confidence/>

97. Hospices civils de Lyon - CHU de LyonLes HCL disposent d'un plateau de microbiologie unique en France; [consulté le 28 mars 2026]. Disponible sur: https://www.chu-lyon.fr/les-hcl-accueillent-la-plus-grande-chaine-automatisee-de-microbiologie-francaise?utm_source=chatgpt.com

98. APHP. Hôpitaux Saint-Louis et Lariboisière : installation d'une plateforme de microbiologie automatisée dotée d'intelligence artificielle (IA) | APHP; [consulté le 28 mars 2026]. Disponible sur: <https://www.aphp.fr/espace-medias/liste-ressources-presse/hopitaux-saint-louis-et-lariboisiere-installation-dune>

99. CHU de Poitiers. Une nouvelle plateforme pour des analyses microbiologiques de qualité; 14 janv 2021 [consulté le 28 mars 2026]. Disponible sur: <https://www.chu-poitiers.fr/en/une-nouvelle-plateforme-pour-des-analyses-microbiologiques-de-qualite/>

100. HospitaliaGuilbaud A. Microbiologie : avec bioMérieux, le laboratoire du CH de Valenciennes vise l'excellence; 9 nov 2022 [consulté le 28 mars 2026]. Disponible sur: https://www.hospitalia.fr/Microbiologie-avec-bioMerieux-le-laboratoire-du-CH-de-Valenciennes-vise-l-excellence_a3423.html

101. Cherkaoui A, Renzi G, Vuilleumier N, Schrenzel J. Copan WASPLab automation significantly reduces incubation times and allows earlier culture readings. *Clinical Microbiology and Infection*. Elsevier; 1 nov 2019;25(11):1430.e5-1430.e12.

102. Becton, Dickinson and Company. BD Kiestra Solutions; [consulté le 25 févr 2026]. Disponible sur: https://lp.bd.com/202404-IDS24-EU_EN-IMS-Nurturing-LabAuto-LP_LP-EN-01-MainLP.html?utm_source=chatgpt.com#slide5

103. Becton, Dickinson and Company. BD Achieves ISO Certification for its Enterprise-Level Information Security Management System; [consulté le 25 juill 2026]. Disponible sur: <https://news.bd.com/2022-10-26-BD-Achieves-ISO-Certification-for-its-Enterprise-Level-Information-Security-Management-System>

104. CHU D'Amiens La 1ère chaîne de microbiologie automatisée s'installe en Hauts-de-France; 12 sept 2018 [consulté le 28 mars 2026]. Disponible sur: <https://www.chu-amiens.fr/la-1ere-chaine-de-microbiologie-automatisee-sinstalle-en-hauts-de-france/>
105. DSIH Dubois D. La microbiologie sans papier à Grenoble; 25 juin 2028 [consulté le 28 mars 2026]. Disponible sur: <https://dsih.fr/articles/3011/la-microbiologie-sans-papier-a-grenoble>
106. CHU de Nantes Service de Bactériologie et des contrôles microbiologiques; [consulté le 28 mars 2026]. Disponible sur: <https://www.chu-nantes.fr/unite-fonctionnelle-de-bacteriologie-medecale>
107. Croxatto A, Prod'homme G, Faverjon F, Rochais Y, Greub G. Laboratory automation in clinical bacteriology: what system to choose? *Clinical Microbiology and Infection*. Elsevier; 1 mars 2016;22(3):217-35.
108. Getty J, Nussbaum A, Wensenberg E, Giglio S, Hansen GT. Evaluation of the APAS Independence as an Artificial Intelligence Tool for Urine Culture Reporting in a Clinical Hospital Setting. 2022. Disponible sur: <https://documents.thermofisher.com/TFS-Assets/MBD/posters/evaluation-of-the-APAS-Independence-as-an-artificial-intelligence-tool-for-urine-culture-reporting-in-a-clinical-hospital-setting.pdf>
109. APAS Independence | Clever Culture Systems; [consulté le 27 févr 2026]. Disponible sur: <https://www.cleverculturesystems.com/technology/intelligent-automation/apas-independence>
110. Brenton L, Jardine D, Waters MJ, Stanford T, Giglio S. Image interpretation of urine cultures using the APAS® Independence – artificial intelligence in the routine clinical laboratory. 2018. Disponible sur: https://cdn.prod.website-files.com/6615dec696e9446eaf6b7c32/66624bd53cf2af3d0b58aa48_2746_Poster.pdf
111. Brenton L, Waters MJ, Stanford T, Giglio S. Clinical evaluation of the APAS® Independence: Automated imaging and interpretation of urine cultures using artificial intelligence with composite reference standard discrepant resolution. *Journal of Microbiological Methods*. 1 oct 2020;177:106047.
112. Hicks AL, Wheeler N, Sánchez-Busó L, Rakeman JL, Harris SR, Grad YH. Evaluation of parameters affecting performance and reliability of machine learning-based antibiotic susceptibility testing from whole genome sequencing data. *PLoS Computational Biology*. 3 sept 2019;15(9):e1007349.
113. Pesesky MW, Hussain T, Wallace M, Patel S, Andleeb S, Burnham CAD, et al. Evaluation of Machine Learning and Rules-Based Approaches for Predicting Antimicrobial Resistance Profiles in Gram-negative Bacilli from Whole Genome Sequence Data. *Frontiers in Microbiology*. 28 nov 2016;7:1887.
114. Kim JI, Maguire F, Tsang KK, Gouliouris T, Peacock SJ, McAllister TA, et al. Machine Learning for Antimicrobial Resistance Prediction: Current Practice, Limitations, and Clinical Perspective. *Clinical Microbiology Reviews*. 35(3):e00179-21.

115. Weis CV, Jutzeler CR, Borgwardt K. Machine learning for microbial identification and antimicrobial susceptibility testing on MALDI-TOF mass spectra: a systematic review. *Clinical Microbiology and Infection*. Elsevier; 1 oct 2020;26(10):1310-7.
116. Sogawa K, Watanabe M, Ishige T, Segawa S, Miyabe A, Murata S, et al. Rapid Discrimination between Methicillin-Sensitive and Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus* Using MALDI-TOF Mass Spectrometry. *Biocontrol Science*. 2017;22(3):163-9.
117. Aqeel S, Haider Z, Khan W. Towards digital diagnosis of malaria: How far have we reached? *Journal of Microbiological Methods*. 1 janv 2023;204:106630.
118. Liu R, Liu T, Dan T, Yang S, Li Y, Luo B, et al. AIDMAN: An AI-based object detection system for malaria diagnosis from smartphone thin-blood-smear images. *Patterns*. 8 sept 2023;4(9):100806.
119. Yu H, Mohammed FO, Abdel Hamid M, Yang F, Kassim YM, Mohamed AO, et al. Patient-level performance evaluation of a smartphone-based malaria diagnostic application. *Malaria Journal*. 27 janv 2023;22(1):33.
120. Hansun S, Argha A, Bakhshayeshi I, Wicaksana A, Alinejad-Rokny H, Fox GJ, et al. Diagnostic Performance of Artificial Intelligence–Based Methods for Tuberculosis Detection: Systematic Review. *Journal of Medical Internet Research*. 7 mars 2025;27:e69068.
121. Zhan Y, Wang Y, Zhang W, Ying B, Wang C. Diagnostic Accuracy of the Artificial Intelligence Methods in Medical Imaging for Pulmonary Tuberculosis: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Clinical Medicine*. 30 déc 2022;12(1):303.
122. AI4HLTH Updated 0523StopTB Partnership : products certified and market ready; [consulté le 10 juin 2026]. Disponible sur: <https://www.ai4hlth.org/products>
123. Wong A, Lee JRH, Rahmat-Khah H, Sabri A, Alaref A. TB-Net: A Tailored, Self-Attention Deep Convolutional Neural Network Design for Detection of Tuberculosis Cases from Chest X-ray Images. *arXiv*; 2021 [consulté le 6 mars 2026]. Disponible sur: <http://arxiv.org/abs/2104.03165>
124. Singh M, Pujar GV, Kumar SA, Bhagyalalitha M, Akshatha HS, Abuhaija B, et al. Evolution of Machine Learning in Tuberculosis Diagnosis: A Review of Deep Learning-Based Medical Applications. *Electronics*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute; janv 2022;11(17):2634.
125. Guido G, Gulo B, Cotugno S, Nigussa W, Bobosha K, Segala FV, et al. Improving Tuberculosis Diagnosis Through Artificial Intelligence (CAD4TB) and Stool Xpert MTB/RIF Testing: A Prospective Study From Oromia, Ethiopia. *Open Forum Infectious Diseases*. 10 déc 2025;13(1):ofaf725.
126. Organisation mondiale de la santé. Operational Handbook on Tuberculosis. Module 2: Screening - Systematic Screening for Tuberculosis Disease. Geneva; 2021.
127. Mao Q, Jay M, Hoffman JL, Calvert J, Barton C, Shimabukuro D, et al. Multicentre validation of a sepsis prediction algorithm using only vital sign data in the emergency department, general ward and ICU. *BMJ Open*. 26 janv 2018;8(1):e017833.

128. Burdick H, Pino E, Gabel-Comeau D, McCoy A, Gu C, Roberts J, et al. Effect of a sepsis prediction algorithm on patient mortality, length of stay and readmission: a prospective multicentre clinical outcomes evaluation of real-world patient data from US hospitals. *BMJ Health & Care Informatics*. 30 avr 2020;27(1):e100109.
129. Medical Device Developments Kumar M. AlgoDx gets FDA clearance for NAVOY CDS sepsis detection software; 21 août 2024 [consulté le 9 mars 2026]. Disponible sur: <https://www.medicaldevice-developments.com/news/algodx-gets-fda-clearance-for-navoy-cds-sepsis-detection-software/>
130. Persson I, Östling A, Arlbrandt M, Söderberg J, Becedas D. A Machine Learning Sepsis Prediction Algorithm for Intended Intensive Care Unit Use (NAVOY Sepsis): Proof-of-Concept Study. *JMIR Formative Research*. 30 sept 2021;5(9):e28000.
131. Persson I, Macura A, Becedas D, Sjövall F. Early prediction of sepsis in intensive care patients using the machine learning algorithm NAVOY® Sepsis, a prospective randomized clinical validation study. *Journal of Critical Care*. 1 avr 2024;80:154400.
132. PREVIA Medical. SEPSI Score. 2024 [consulté le 10 mars 2026]. Disponible sur: https://www.biotuesdays.fr/app/uploads/2024/09/20240910_Presentation_PREVIA-MEDICAL-1.pdf
133. Thiboud PE, François Q, Faure C, Chaufferin G, Arribe B, Ettahar N. Development and Validation of a Machine Learning Model for Early Prediction of Sepsis Onset in Hospital Inpatients from All Departments. *Diagnostics*. 27 janv 2025;15(3):302.
134. PREVIA Medical. SEPSI Score ©; [consulté le 10 mars 2026]. Disponible sur: <https://www.previa-medical.com/sepsi-score/>
135. van der Meijden SL, van Boekel AM, Schinkelshoek LJ, van Goor H, Steyerberg EW, Nelissen RGHH, et al. Development and validation of artificial intelligence models for early detection of postoperative infections (PERISCOPE): a multicentre study using electronic health record data. *The Lancet Regional Health Europe*. févr 2025;49:101163.
136. van der Meijden S. PERISCOPE: an AI tool for the early detection of postoperative infections. 2025 [consulté le 13 mars 2026]. Disponible sur: <https://www.infectiologie.com/UserFiles/File/gid/seminaire-2025/siri-van-der-meijden.pdf>
137. Leiden University. AI model predicts risk of infection in postoperative patients; 8 mai 2025 [consulté le 13 mars 2026]. Disponible sur: <https://www.universiteitleiden.nl/en/news/2025/05/ai-model-predicts-risk-of-infection-in-postoperative-patients>
138. Beaudoin M, Kabanza F, Nault V, Valiquette L. Evaluation of a machine learning capability for a clinical decision support system to enhance antimicrobial stewardship programs. *Artificial Intelligence in Medicine*. mars 2016;68:29-36.

139. Bosetti D, Grant R, Catho G. Computerized decision support for antimicrobial prescribing: what every antibiotic steward should know. *Antimicrobial Stewardship & Healthcare Epidemiology* : ASHE. 12 sept 2025;5(1):e210.
140. Sanford Guide. Sanford Guide celebrates 50 years of antimicrobial stewardship; 5 févr 2019 [consulté le 13 mars 2026]. Disponible sur: <https://www.prnewswire.com/news-releases/sanford-guide-celebrates-50-years-of-antimicrobial-stewardship-300788408.html>
141. Sanford Guide. Custom Antimicrobial Stewardship App; [consulté le 13 mars 2026]. Disponible sur: <https://www.sanfordguide.com/stewardship-assist/>
142. Johns Hopkins Medicine. POC-IT Guides from Johns Hopkins: Confidence at the Point of Care; [consulté le 18 mars 2026]. Disponible sur: <https://www.johnshopkinssolutions.com/solution/poc-it-guides>
143. Elsevier. Aide à la décision clinique - ClinicalKey; [consulté le 17 mars 2026]. Disponible sur: <https://www.elsevier.com/fr-fr/products/clinicalkey>
144. Elsevier. ClinicalKey AI; [consulté le 17 mars 2026]. Disponible sur: <https://www.elsevier.com/fr-fr/products/clinicalkey/clinicalkey-ai>
145. Fierce HealthcareGliadkovskaya A. Elsevier Health, partners unveils conversational AI decision support tools; 1 mars 2024 [consulté le 17 mars 2026]. Disponible sur: <https://www.fiercehealthcare.com/ai-and-machine-learning/elsevier-health-unveils-ai-driven-clinical-decision-support-tool>
146. Elsevier. Elsevier expands ClinicalKey AI with unrivaled full-text knowledge base and technology upgrades; 18 févr 2026 [consulté le 17 mars 2026]. Disponible sur: <https://www.elsevier.com/about/press-releases/elsevier-expands-clinicalkey-ai-with-unrivaled-full-text-knowledge-base-and>
147. AntibioGARde; [consulté le 29 mars 2026]. Disponible sur: <https://antibioGARde.org/>
148. AntibioGILar; [consulté le 29 mars 2026]. Disponible sur: <https://gilar.org/antibioGILar.html>
149. AntibioEst. AntibioGUIDe; [consulté le 31 mars 2026]. Disponible sur: <https://guides.antibioest.org/#>
150. Observatoire de l'Innovation en Santé [ORIS]. AppliBiotic; [consulté le 15 avr 2026]. Disponible sur: <https://oris-nouvelle-aquitaine.org/2017/05/applibiotic/>
151. CMIT. ePOPI; [consulté le 31 mars 2026]. Disponible sur: <https://www.epopi.fr/>
152. Jeanmougin P, Larramendy S, Fournier JP, Gaultier A, Rat C. Effect of a feedback visit and a clinical decision support system based on antibiotic prescription audit in primary care: multiarm cluster-randomized controlled trial. *Journal of Medical Internet Research*. JMIR Publications Inc., Toronto, Canada; 18 déc 2024;26(1):e60535.

153. antibioclic.comAntibioclic; [consulté le 18 mars 2026]. Disponible sur: <https://antibioclic.com/>
154. antibioclic.comAntibioclic : À propos; [consulté le 18 mars 2026]. Disponible sur: <https://antibioclic.com/p/a-propos>
155. Peiffer-Smadja N, Thy M, Delory T, Jeanmougin P, Giordano L, Bel JL, et al. Determinants of sustainable adoption in primary care of a clinical decision support system for antimicrobial prescribing: A qualitative study. *Infectious Diseases Now*. nov 2025;55(7):105157.
156. Association les amis d'Antibioclic. Rapport d'activité 2024. 2024. Disponible sur: <https://antibioclic.com/storage/727/Rapport-d'activité-VF.pdf>
157. Tsopra R, Sedki K, Courtine M, Falcoff H, De Beco A, Madar R, et al. Helping GPs to extrapolate guideline recommendations to patients for whom there are no explicit recommendations, through the visualization of drug properties. The example of AntibioHelp® in bacterial diseases. *Journal of the American Medical Informatics Association: JAMIA*. 1 oct 2019;26(10):1010-9.
158. VIH ClicVIHClic - Aide à la prise en charge des patients VIH; [consulté le 29 mars 2026]. Disponible sur: <https://vihclic.fr/>
159. Bug.ControlBug.Control; [consulté le 9 juin 2026]. Disponible sur: <https://extranet.chu-bordeaux.fr/>
160. AntibioEst - SPARES; 22 août 2024 [consulté le 26 juill 2026]. Disponible sur: <https://www.antibioest.org/spares/>
161. Hygiènes. Logiciel de surveillance clinique : ICNET; 2022 [consulté le 24 mai 2026]. Disponible sur: <https://www.hygienes.net/actualite/industrie/logiciel-de-surveillance-clinique>
162. Heard KL, Hughes S, Mughal N, Azadian BS, Moore LSP. Evaluating the impact of the ICNET® clinical decision support system for antimicrobial stewardship. *Antimicrobial Resistance & Infection Control*. 6 mars 2019;8(1):51.
163. NosotechLogiciels de prévention des maladies infectieuses; [consulté le 23 mai 2026]. Disponible sur: <https://nosotech.com/>
164. NosotechClients et références scientifiques; [consulté le 8 avr 2026]. Disponible sur: <https://nosotech.com/clients-et-references-scientifiques/>
165. LUMED. À propos de Lumed : découvrez-en plus sur notre mission et notre équipe; [consulté le 1 avr 2026]. Disponible sur: <https://lumed.ca/a-propos/>
166. Lumed un partenaire de bioMérieux. [consulté le 1 avr 2026]. Disponible sur: <https://lumed.ca/nouvelles/lumed-compagnie-de-biomerieux/>
167. LUMED. APSS - Logiciel d'antibiogouvernance pour améliorer les prescriptions; [consulté le 3 avr 2026]. Disponible sur: <https://lumed.ca/apss/>

168. Nadeau E, Mercier A, Perron J, Gilbert M, Nault V, Beaudoin M, et al. Clinical impact of accepting or rejecting a recommendation from a clinical decision support system—assisted antibiotic stewardship program. *Journal of the Association of Medical Microbiology and Infectious Disease Canada*. juill 2021;6(2):85-93.
169. Baudet A. Évaluation de la maîtrise de la consommation d'antibiotiques assistée par ordinateur au CHRU de Nancy. Université de Lorraine; 2024 [consulté le 3 avr 2026]. Disponible sur: https://docnum.univ-lorraine.fr/public/DDOC_T_2024_0156_BAUDET.pdf
170. Baudet A, Brennstuhl MJ, Charmillon A, Meyer F, Pulcini C, Thilly N, et al. Hospital antimicrobial stewardship team perceptions and usability of a computerized clinical decision support system. *International Journal of Medical Informatics*. 1 déc 2024;192:105653.
171. Biomérieux. bioMérieux obtient le marquage CE pour LUMEDTM APSSTM. avr 2025. Disponible sur: https://www.biomerieux.com/content/dam/biomerieux-com/investor/informations-reglementees/2025/communiqu-s-de-presse/CP_LUMED-APSS-Marquage-CE_bioMerieux_20250407.pdf.coredownload.inline.pdf
172. Hoyle EF. Using clinical surveillance software to support effective infection prevention and control for managing COVID-19. *British Journal of Nursing*. 26 janv 2023 [consulté le 24 mai 2026]; Disponible sur: <https://www.britishjournalofnursing.com/content/focus/using-clinical-surveillance-software-to-support-effective-infection-prevention-and-control-for-managing-covid-19>
173. LUMED. ZINC- Prévention, surveillance et contrôle des infections nosocomiales; [consulté le 17 avr 2026]. Disponible sur: <https://lumed.ca/zinc/>
174. Groupe de travail Formation, Groupe de travail Edito, Jeunes professionnels de la prévention du risque infectieux. Rétrospective sur les Diginars. *Hygiènes*. 2024;XXXII(6):10-1.
175. Baudet A, Brennstuhl MJ, Lizon J, Regad M, Thilly N, Demoré B, et al. Perceptions of infection control professionals toward electronic surveillance software supporting inpatient infections: A mixed methods study. *International Journal of Medical Informatics*. 1 juin 2024;186:105419.
176. Baudet A, Lizon J, Regad M, Faivre V, Colas A, Demoré B, et al. Impact of an electronic surveillance system on compliance with isolation precaution measures: an interrupted time series study. *Infectious Diseases*. London, England; mai 2025;57(5):417-27.
177. NosotechLogiciels de prévention des maladies infectieuses; [consulté le 7 avr 2026]. Disponible sur: <https://nosotech.com/>
178. HospitaliaHayek J. L'hygiène hospitalière prend de plain-pied le virage numérique; 10 janv 2024 [consulté le 29 avr 2026]. Disponible sur: https://www.hospitalia.fr/L-hygiene-hospitaliere-prend-de-plain-pied-le-virage-numerique_a3993.html
179. D'Hollander-Pestourie N, Marco L, Fillali W, Riffaud S, Javelaud E, Castanie L, et al. Apport de la mise en place d'un logiciel de gestion des alertes microbiologiques

et des listes de cas contact dans un CHU. 2022. Disponible sur: https://nosotech.com/wp-content/uploads/Limoges-poster_sf2h_2022_nosokos.pdf

180. Marco L, Pouly E, Javelaud E, Riffaud S, Castanie L, Couve-Deacon E, et al. Apport de la mise en place d'un logiciel de gestion des hémocultures positives pour la surveillance des infections associées aux dispositifs invasifs. 2023. Disponible sur: <https://nosotech.com/wp-content/uploads/Limoges-spiadi-2023.pdf>

181. ISO/ISO/IEC 27001:2022; [consulté le 23 mai 2026]. Disponible sur: <https://www.iso.org/fr/standard/27001>

182. Ascentry. Infection control & antimicrobial resistance software platform; [consulté le 23 mai 2026]. Disponible sur: <https://www.ascentry.com/products/infection-tracker/>

183. Durand C, Alfandari S, Béraud G, Tsopra R, Lescure FX, Peiffer-Smadja N. Clinical Decision Support Systems for Antibiotic Prescribing: An Inventory of Current French Language Tools. *Antibiotics*. 14 mars 2022;11(3):384.

184. Direction générale des Entreprises. France 2030 : stratégie d'accélération santé numérique; [consulté le 15 juill 2026]. Disponible sur: <https://www.entreprises.gouv.fr/priorites-et-actions/autonomie-strategique/soutenir-linnovation-dans-les-secteurs-strategiques-10>

185. antibioclic-afrique.com Antibioclic Afrique : À propos; [consulté le 17 juin 2026]. Disponible sur: <https://antibioclic-afrique.com/a-propos>

186. AntibioGo | La Fondation MSF; 26 sept 2025 [consulté le 17 juin 2026]. Disponible sur: <https://fondation.msf.fr/fr/projets/antibiogo>

Université de Lille
UFR3S-Pharmacie
DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN PHARMACIE
Année Universitaire 2025/2026

Nom : HOYEZ
Prénom : Yanet

**Titre de la thèse : ÉTAT DES LIEUX DES OUTILS NUMÉRIQUES DISPONIBLES
DANS LA PRISE EN CHARGE DU RISQUE INFECTIEUX EN FRANCE**

Mots-clés : Prévention et maîtrise du risque infectieux, résistance aux antimicrobiens, bon usage des antibiotiques, innovations numériques en santé

Résumé :

La prévention du risque infectieux et la lutte contre l'antibiorésistance sont au cœur des problématiques actuelles de santé publique. Dans un contexte où le numérique occupe une place de plus en plus importante au sein des disciplines médicales, des outils d'aide au diagnostic, à la décision clinique, à la prescription ou encore à la surveillance des infections se sont développés dans le monde, afin d'aider les professionnels de santé.

Ce travail, réalisé au travers de recherches bibliographiques ou de partages d'expériences présentés en congrès, a pour objectif d'établir un état des lieux des différents outils numériques disponibles en France.

En synthèse, dans le cadre du bon usage des anti-infectieux, les professionnels de santé disposent de différents outils accessibles sur internet ou sur application mobile, basés sur des recommandations d'experts et régulièrement mis à jour. Ils représentent un réel soutien à la décision clinique. Ces outils étant autonomes, l'épidémiologie locale ou les caractéristiques physiopathologiques des patients ne sont pas pris en compte.

Concernant l'infectiovigilance et l'antibiogouvernance en établissement de santé, ce travail met en lumière à la fois les défis auxquels les structures et équipes sont quotidiennement confrontées, et les perspectives que pourraient apporter les solutions numériques et l'intelligence artificielle. Cependant, à ce jour, leur déploiement en France demeure limité, tout comme leurs évaluations. Des études prospectives sont nécessaires afin de démontrer leur impact dans la prise en charge clinique, thérapeutique et dans le respect des exigences éthiques et réglementaires.

Membres du jury :

Président : Monsieur le Professeur FOLIGNÉ Benoît

Assesseurs : Madame le Professeur FAURE Karine
Madame le Docteur KIZONZOLO DE BELLO Saënsie-Orlène
Monsieur le Docteur DEGRENDÉL Maxime

Directrice de thèse : Madame le Docteur DEWULF Gisèle