

Rapport de conception et d'analyse hospitalière

Présentation des fonctionnalités du prototype et méthodologie de développement

Le projet Smart Care repose sur une architecture logicielle modulaire développée sous Python 3.13, exploitant la puissance du framework Streamlit pour la restitution décisionnelle. La méthodologie de développement a privilégié une séparation stricte des préoccupations (SOC) : le moteur de calcul et de traitement des données est isolé de l'interface utilisateur, ce qui garantit une robustesse accrue et une maintenance facilitée. Le prototype s'articule autour de cinq modules interdépendants. L'accueil fournit une vision synthétique des indicateurs clés (KPIs) de performance, tandis que le module d'analyse exploratoire permet une immersion profonde dans les dynamiques historiques. Les modules de simulation et de prédiction transforment ces données en outils prospectifs, complétés par un moteur de recommandations automatiques. L'optimisation technique est assurée par l'utilisation de décorateurs de mise en cache et d'un état de session partagé, permettant de manipuler des volumes de données importants sans altérer la réactivité du système, même lors de calculs de prédiction multi-jours complexes.



Explication Indicateurs Clés :

Occupation Moyenne :

"Moyenne du taux d'occupation des lits sur toute la période. Delta = différence entre les 7 derniers jours et la semaine précédente.",

Admissions/Jour :

"Moyenne des admissions quotidiennes sur toute la période. Delta = évolution semaine N vs N-1.",

Urgences/Jour :

"Moyenne des passages aux urgences par jour. Delta = évolution semaine N vs N-1.",

Couverture Personnel :

"Moyenne du taux de couverture du personnel. Delta = évolution semaine N vs N-1.".

Étude comparative de la gestion des ressources hospitalières

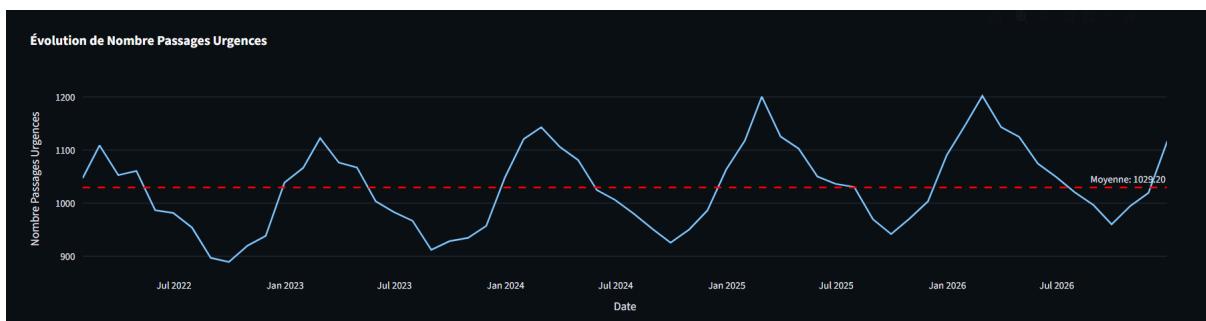
L'analyse comparative entre un établissement de référence tel que la Pitié-Salpêtrière et des structures hospitalières régionales met en exergue des besoins radicalement différents en matière de pilotage. Dans un hôpital de proximité, la gestion des flux est souvent centralisée et prévisible. À l'inverse, la complexité organisationnelle de la Pitié-Salpêtrière, avec ses soixante-dix-sept services spécialisés, impose une gestion transversale et décentralisée. Le prototype Smart Care dépasse les solutions de gestion statique traditionnelles en intégrant des variables contextuelles massives. Là où une gestion classique planifie les effectifs sur des moyennes lissées, Smart Care permet d'ajuster les ressources humaines et matérielles en fonction de la pression spécifique de chaque service, assurant une coordination inter-services capable d'absorber des flux massifs sans atteindre le point de rupture.

Critères	CHU Pitié-Salpêtrière	Hôpital de Proximité / CHR Type
Échelle	90 bâtiments, 33 hectares, 77 services.	Souvent < 200 lits, structure centralisée.
Mission	Soins de recours, recherche et haute technicité.	Premier recours, coordination territoriale.
Gestion des Flux	Flux massifs et complexes (Urgences, Cardio, Neuro).	Souvent utilisé comme "aval" ou pour désengorger les CHU.

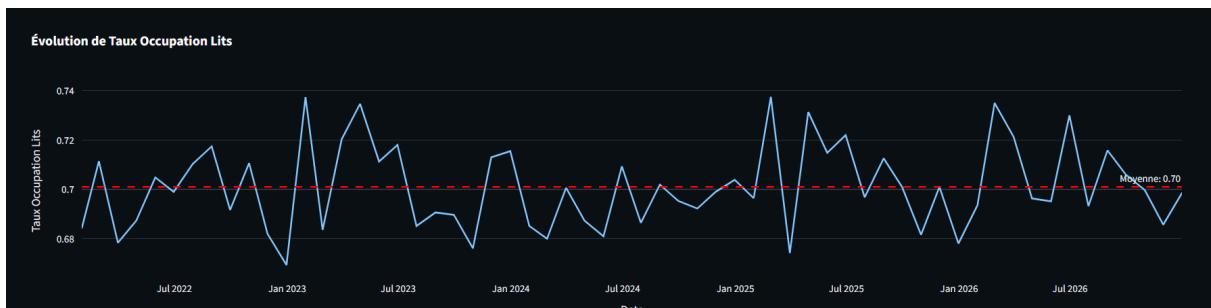
Problématique	Saturation par spécialités et coordination inter-services.	Manque de ressources spécialisées et isolement géographique.
----------------------	--	--

Analyse des tendances d'admissions et périodes critiques

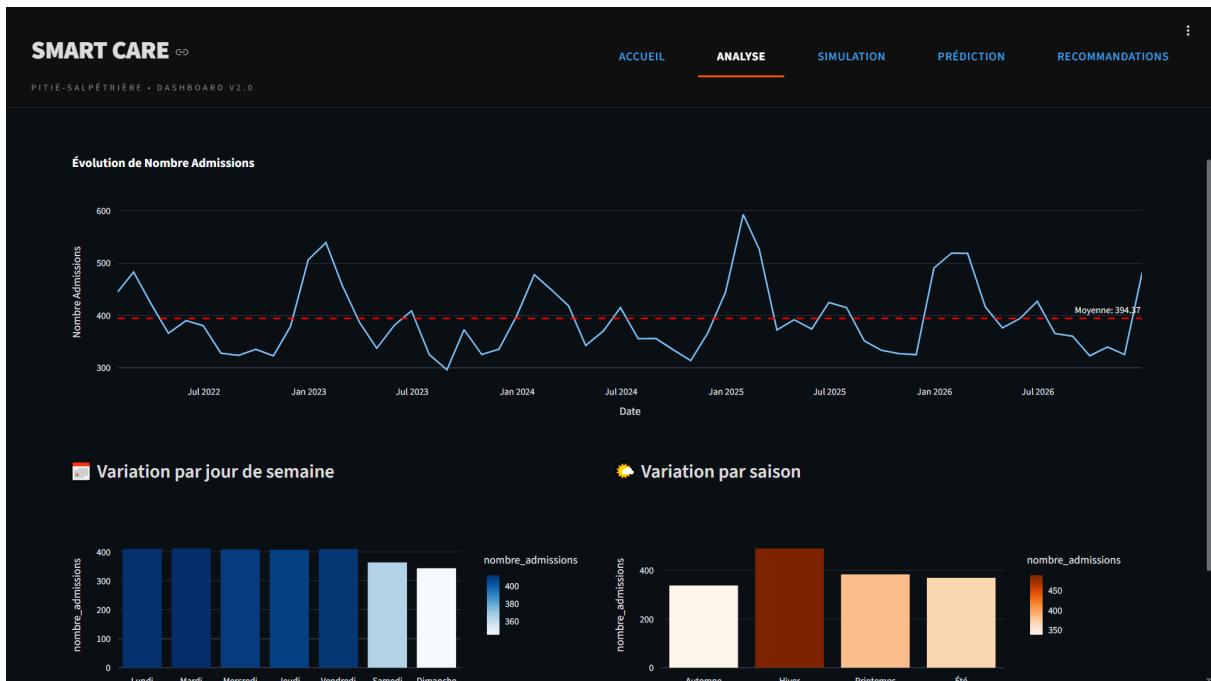
L'étude des données historiques sur la période 2022-2024 révèle des cycles d'activité marqués par une forte saisonnalité et des événements externes prévisibles. Les périodes hivernales se distinguent systématiquement comme des phases critiques dues à la recrudescence des pathologies respiratoires, tandis que les épisodes de canicule génèrent des pics soudains de passages aux urgences. L'évaluation des stratégies hospitalières actuelles montre une approche souvent réactive qui peine à anticiper ces fluctuations. Smart Care permet de passer outre ces limites en identifiant les variables météorologiques et calendaires comme des prédicteurs fiables de la pression hospitalière. L'outil met en évidence que certains jours de la semaine, notamment le lundi, présentent des taux de saturation structurels nécessitant une planification renforcée des effectifs.



L'analyse des flux d'urgence révèle une moyenne stabilisée à **1 029 passages par jour**, mais soumise à une forte volatilité saisonnière et événementielle. On observe des pics de tension récurrents dépassant les **1 200 passages**, particulièrement lors des périodes hivernales de janvier 2023, 2024 et 2025, correspondant aux phases épidémiques



Ce graphique, ci dessus, nous permet d'observer une tendance de taux d'occupation des lits d'environ 70 %, les pics sont majoritairement lors de l'hiver ce qui est corrélé souvent avec des fortes épidémies de gastro ou de grippe.



Cette page montre plusieurs graphiques sur l'évolution du nombre d'admissions, elle nous permet de confirmer que l'hiver est la saison la plus dense en terme d'admissions et que le week end est, à contrario, le moment de la semaine où il y a le moins d'admissions.

Présentation de l'analyse statistique et justifications des visualisations

L'analyse statistique de ce projet est conçue comme une représentation mathématique des flux observés, formulant des hypothèses rigoureuses sur la distribution des admissions et les corrélations entre les variables

environnementales et hospitalières. Le modèle statistique utilisé permet de quantifier l'incertitude et de mettre en évidence les dépendances, notamment la corrélation entre les températures extrêmes et le taux d'occupation des lits. Les choix de visualisation ont été dictés par la nécessité d'une interprétation rapide : les matrices de corrélation ont été implémentées pour justifier la sélection des variables prédictives, tandis que les histogrammes permettent d'analyser la distribution de probabilité des passages aux urgences. Ces outils de dataviz ne sont pas de simples illustrations mais des supports à la validation des hypothèses de modélisation, garantissant que les paramètres décrivant les relations entre variables sont robustes et applicables au contexte réel de la Pitié-Salpêtrière.



Présentation et justification des modèles de prédiction entraînés

Afin de répondre aux impératifs de pilotage proactif de l'Hôpital Pitié-Salpêtrière, notre stratégie de modélisation a évolué vers une approche hybride combinant l'apprentissage automatique (Machine Learning) et l'analyse de séries temporelles avancée. Bien que les modèles de type **Gradient Boosting** et **Random Forest** aient été initialement retenus pour leur capacité à traiter des relations non linéaires, nous avons intégré le modèle **Prophet** pour la prédiction multi-jours. Ce choix technologique se justifie par la performance supérieure de Prophet sur nos données, affichant l'erreur la plus faible du panel avec un **MAPE de 17,96 %** et une erreur moyenne absolue (MAE) de **55,12**, surpassant ainsi le Gradient Boosting (MAPE de 18,89 %).

Une innovation majeure du prototype réside dans l'implémentation d'un module d'inférence basé sur l'algorithme des **k-plus proches voisins (k-NN)**. Pour pallier l'absence de données réelles sur l'horizon 2026, cette technologie permet de générer des « lags synthétiques » en identifiant dans l'historique 2022-2024 les journées présentant les caractéristiques contextuelles (météo, calendrier, événements) les plus proches de la date cible. Cette méthode garantit que les modèles reçoivent des variables d'entrée cohérentes, permettant une projection robuste des flux futurs malgré l'incertitude temporelle.

L'évaluation de l'impact de ces modèles démontre qu'une prédition fiable, notamment avec un horizon à J+4, autorise une réorganisation structurelle du personnel et une gestion dynamique de la capacité en lits. En intégrant ces technologies de pointe dans une architecture modulaire sous **Streamlit**, nous fournissons aux décideurs un outil capable de transformer des représentations mathématiques complexes en stratégies de gestion de crise concrètes, minimisant ainsi l'impact des pics d'activité sur la sécurité et la qualité des soins prodigués aux patients.

Pour voir le projet voici le lien github :

<https://github.com/YassChaai/SmartCare-Analytics.git>