

Optimiser un hôpital comme on optimise un réseau logistique

Recherche opérationnelle, files d'attente et IA pour la gestion des ressources de santé

Pinel Baudelaire T. DAHOUI

Data Scientist & IA | Ingénieur en Travaux Statistiques

Master Statistiques Appliquées aux Sciences du Vivant

tpineldahoui@gmail.com | github.com/Baudelaire12

CIPMA-CHAIRE UNESCO | Bénin

Dimanche 9 Mars 2025

Série LinkedIn STEM au Quotidien — Jour 7/40

Plan de la présentation

- 1 Mise en contexte
- 2 Concepts clés
- 3 Développement mathématique
- 4 Cas pratique
- 5 Conclusion
- 6 Références

L'hôpital : une chaîne logistique sous tension permanente

Chiffre clé

En France, les patients attendent en moyenne **2h30** aux urgences avant d'être pris en charge (DREES, 2022). Au Bénin, le manque de lits et de personnel qualifié amplifie ce problème dans les hôpitaux de référence.

- Un bloc opératoire génère plus de **1 000 décisions de planification** par semaine (chirurgiens, infirmiers, équipements, salles).
- La télémédecine a connu une croissance de **38%** post-COVID en Europe (ECDC, 2022), réduisant les consultations inutiles.
- L'optimisation des plannings infirmiers peut réduire les coûts de personnel de **10 à 15%** sans dégrader la qualité des soins (Beliën & Forcé, 2012).

Question centrale

Comment les mathématiques de la recherche opérationnelle permettent-elles d'allouer efficacement des ressources rares dans un système de santé ?

Théorie des files d'attente aux urgences

Définition

La **théorie des files d'attente** (queueing theory) modélise les flux d'arrivée de patients, les temps de service et les ressources disponibles pour minimiser les temps d'attente et maximiser le débit.

Notation de Kendall : $A/S/c/K/N/D$

Aux urgences, le modèle typique est **M/M/c** :

- M : arrivées de patients selon un processus de Poisson (taux λ)
- M : temps de service exponentiel (taux μ)
- c : nombre de serveurs (médecins/infirmiers disponibles)

Intensité de trafic :

$$\rho = \frac{\lambda}{c \cdot \mu}$$

Si $\rho \geq 1$: la file d'attente diverge — saturation du système.

Formule d'Erlang C — Probabilité d'attente

Pour un modèle M/M/c, la probabilité qu'un patient doive attendre est donnée par la **formule d'Erlang C** :

$$C(c, \lambda/\mu) = \frac{\frac{(c\rho)^c}{c!(1-\rho)} P_0}{\frac{(c\rho)^c}{c!(1-\rho)} P_0 + \sum_{k=0}^{c-1} \frac{(c\rho)^k}{k!} P_0}$$

où P_0 est la probabilité que le système soit vide.

Temps d'attente moyen en file :

$$W_q = \frac{C(c, \lambda/\mu)}{\lambda(1-\rho)} \cdot \frac{1}{\mu}$$

Loi de Little (relation fondamentale) :

$$L = \lambda \cdot W$$

L = nombre moyen de patients dans le système, W = temps moyen de séjour.

Programmation linéaire pour la planification du personnel

Problème de planification des infirmiers — formulation LP : **Variables de décision :**

$x_{it} \in \{0, 1\}$ — infirmier i travaille au créneau t

Objectif :

$$\min \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T c_{it} \cdot x_{it} \quad (\text{minimiser le coût total})$$

Contraintes :

$$\sum_{i=1}^I x_{it} \geq d_t \quad \forall t \in T \quad (\text{couverture minimale})$$

$$\sum_{t \in S} x_{it} \leq h_{\max} \quad \forall i \in I \quad (\text{durée légale de travail})$$

$$x_{it} + x_{i,t+1} \leq 1 \quad \forall i, \forall t \quad (\text{repos entre deux gardes})$$

Cas pratique : optimisation des blocs opératoires

Contexte

L'optimisation de la planification chirurgicale est un problème NP-difficile combinant affectation des chirurgiens, des salles et des équipements. Des hôpitaux européens ont réduit leurs temps d'annulation de **23%** grâce à ces méthodes (Cardoen et al., 2010).

Résultats d'une étude de cas (CHU fictif, données réalistes) :

Indicateur	Avant optimisation	Après LP
Taux d'utilisation bloc	67%	84%
Cas annulés / semaine	8.3	3.1
Heures supplémentaires / semaine	42h	18h
Économies annuelles (estimées)	—	~ 180 000

Contexte béninois : Le CNHU-HKM de Cotonou bénéficierait de telles approches pour optimiser la gestion de ses 18 spécialités médicales face à une demande croissante.

Synthèse

La recherche opérationnelle et l'IA apportent des outils puissants pour transformer la gestion hospitalière : réduction des temps d'attente, optimisation des plannings, meilleure allocation des lits et des blocs. Ces méthodes sont d'autant plus cruciales dans les pays à ressources limitées.

Perspectives :

- Télémédecine intelligente : triage automatique pré-consultation par IA
- Jumeaux numériques d'hôpitaux pour simuler des scénarios de crise (pandémie, afflux massif)
- Prédiction de la demande en soins par machine learning (saisonnalité des maladies)
- Déploiement de solutions open-source adaptées aux hôpitaux africains (OpenMRS, DHIS2)

« Un hôpital bien géré, c'est des vies sauvées. Et les mathématiques sont le meilleur manager. »

— Inspiration : Florence Nightingale, pionnière de la statistique médicale (1858)

Références bibliographiques

-  Beliën, J., & Forcé, H. (2012). A MIP-based approaches to nurse rostering problems. *European Journal of Operational Research*, 215(1), 188–199.
-  Cardoen, B., Demeulemeester, E., & Beliën, J. (2010). Operating room planning and scheduling : A literature review. *European Journal of Operational Research*, 201(3), 921–932.
-  Erlang, A. K. (1917). Solution of some problems in the theory of probabilities of significance in automatic telephone exchanges. *Post Office Electrical Engineer's Journal*, 10, 189–197.
-  DREES. (2022). *Les urgences hospitalières en 2021 : une activité encore marquée par la crise sanitaire*. Direction de la Recherche, des Études, de l'Évaluation et des Statistiques, Ministère de la Santé, France.
-  Little, J. D. C. (1961). A proof for the queuing formula $L = \lambda W$. *Operations Research*, 9(3), 383–387.
-  European Centre for Disease Prevention and Control. (2022). *Telemedicine use in European health systems*. ECDC Technical Report.

Merci pour votre attention

Pinel Baudelaire T. DAHOUI

Data Scientist & IA | CIPMA-CHAIRE UNESCO, Bénin

`tpineldahoui@gmail.com`

`github.com/Baudelaire12`

LinkedIn : @Pinel Baudelaire DAHOUI

Série STEM au Quotidien — 40 jours pour comprendre le monde par les données