

Résilience de la chaîne logistique hospitalière : un cas d'étude basé sur le concept de stock de sécurité

RAHIEL Naima ¹, EL MHAMED Abderrahman ¹, HACHEMI Khalid ², AOUFFEN Nabil ³

¹ Université Paris 8 Vincennes- Saint-Denis, laboratoire QUARTZ (a.elmhamedi@iut.univ-paris8.fr), (n.rahiel@iut.univ-paris8.fr).

² Université Oran 2 Mohamed Ben Ahmed, laboratoire LGPMI (hachemi.khalid@univ-oran2.dz)

³ Faculté de Médecine - Université Oran 1 Ahmed Ben Bella (n.aouffen@facmed-univ-oran.dz)

Abstract

This article aims to address the resilience of the hospital supply chain from the perspective of establishing a safety stock to absorb a surge in demand for care following a disease outbreak peak, for example. The basic idea of our approach is to consider a Unitary Care Stock composed of a weighted aggregate of human and material resources (physicians, nurses, medical supplies, and equipment) as the product for which a safety stock is needed to cope with the uncertainty of care demand (patient flows in this case). The sizing of the safety stock is based on a normal demand distribution with uncertainty only on demand and a target service level to be achieved. The safety stock in our case consists of healthcare human resources (physicians, nurses, nursing aides, etc.) and materials to be redeployed in crisis situations, sourced from other healthcare facilities (such as local health clinics in the Algerian context). Therefore, no storage costs are incurred. We will apply this approach and demonstrate its effectiveness in managing the bronchiolitis epidemic at the Canastel Pediatric Hospital in Oran, Algeria.

Résumé

Cet article vise à traiter la résilience de la chaîne logistique hospitalière sous l'angle de dimensionnement d'un stock de sécurité permettant d'absorber un choc dû à une forte demande en soins suite à un pic d'épidémie par exemple. L'idée de base de notre approche consiste à considérer un Stock Unitaire de Soins composé d'un agrégat pondéré de ressources humaines et matérielles (Médecins, infirmiers, fournitures et équipements médicaux), comme étant le produit dont il faut avoir un stock de sécurité pour pallier l'incertitude de la demande de soins (flux de patients dans ce cas). Le dimensionnement du stock de sécurité repose sur une loi normale de la demande avec incertitude uniquement sur la demande, et un taux de service à assurer. Contrairement à un stock de sécurité d'un produit qui engendre des coûts de stockage, le stock de sécurité dans notre cas, sera constitué de ressources humaines de soins (médecins, infirmiers, aide soignants...etc.) et matérielles à redéployer en cas de crise, à partir d'autres structures de soins (par exemple des polycliniques de soins de proximité dans le contexte algérien). Nous appliquerons cette approche et nous montrerons son efficacité dans la gestion de l'épidémie de bronchiolite à l'Hôpital Pédiatrique Canastel d'Oran en Algérie.

Mots clés : résilience hospitalière, stock de sécurité, gestion de crise.

Introduction

La bronchiolite, une affection respiratoire courante chez les nourrissons et les jeunes enfants, représente une charge significative pour les services de santé à travers le monde. Caractérisée par une inflammation des voies respiratoires inférieures, la bronchiolite est souvent associée à des épisodes aigus de détresse respiratoire, nécessitant fréquemment une hospitalisation, en particulier chez les nourrissons prématurés ou atteints de comorbidités.

Au-delà de son impact clinique direct, la bronchiolite exerce également une pression importante sur les ressources hospitalières, notamment en termes de capacité d'accueil, de gestion des flux de patients et de charge de travail pour le personnel médical. Cette pression est particulièrement ressentie dans les hôpitaux algériens, où la bronchiolite atteint un pic saisonnier prononcé entre les mois d'octobre et mars. Durant cette période, le nombre de cas de bronchiolite augmente de manière significative, mettant à rude épreuve les capacités d'adaptation et de résilience des établissements de santé.

La situation est d'autant plus critique dans les hôpitaux des régions où les ressources sont déjà limitées et où les infrastructures de santé sont confrontées à des défis structurels. Les services pédiatriques, souvent déjà soumis à une pression constante, voient leur charge de travail augmenter de manière exponentielle pendant la saison de la bronchiolite, ce qui peut entraîner des retards dans les soins, une congestion des services d'urgence et une diminution de la qualité des prestations.

Face à cette réalité, la résilience hospitalière devient un enjeu crucial pour les hôpitaux algériens. Il devient impératif de développer des stratégies et des protocoles de gestion de crise qui permettent aux établissements de santé de maintenir des niveaux élevés de fonctionnement et de répondre efficacement à la demande croissante de soins pendant la saison de la bronchiolite. Cela nécessite une collaboration étroite entre les services de santé, les cliniciens et les gestionnaires hospitaliers pour anticiper les fluctuations saisonnières de la charge de travail et mettre en place des mesures appropriées pour y faire face.

1. Les stocks de sécurité pour renforcer la résilience hospitalière :

La résilience hospitalière désigne la capacité des hôpitaux à résister, absorber et répondre aux chocs des catastrophes tout en maintenant et en intensifiant les services de santé essentiels, puis à se rétablir à leur état initial ou à s'adapter à un nouvel état (Zhu et al., 2019). Cette notion repose sur quatre critères clés : la robustesse, la redondance, la ressource et la rapidité, qui correspondent à la sécurité hospitalière, à la préparation aux catastrophes, à la disponibilité des ressources, à la continuité des services médicaux essentiels, ainsi qu'aux efforts de rétablissement et d'adaptation (Zhong et al., 2014).

La gestion des stocks de sécurité revêt une importance cruciale dans la résilience des chaînes d'approvisionnement, en particulier dans les domaines critiques tels que les chaînes d'approvisionnement en soins de santé (Gonçalves et al., 2020). En réalité, malgré les défis inhérents à leur gestion, Koh et al. mettent en avant que les stocks de sécurité sont l'une des stratégies les plus robustes pour atténuer l'incertitude de l'offre et de la demande.

Les crises sanitaires déclenchent une augmentation significative de la demande de fournitures médicales essentielles, entraînant des perturbations (Dixit & Dutta, 2024). Pour répondre aux défis, les entreprises de santé doivent planifier et considérer un stock de sécurité pour absorber et amortir les impacts des chocs. La gestion efficace des stocks de fournitures médicales essentielles est donc cruciale et influence considérablement la performance des chaînes d'approvisionnement en soins de santé, en particulier en cas de crises sanitaires, car elle impacte directement les taux de remplissage des commandes, les niveaux de service client et les coûts (Stecca et al., 2016). Des pratiques collaboratives de gestion des stocks telles que la planification, la prévision et le réapprovisionnement peuvent maintenir des niveaux de stock optimaux et améliorer la résilience aux ruptures de stock dans les chaînes logistiques hospitalières (Friday et al., 2020).

Diverses stratégies ont été proposées pour déterminer et optimiser les niveaux de stock dans les chaînes logistiques hospitalières lors des épidémies. Des approches standards traditionnelles à l'utilisation de modèles de décision et de programmes informatisés de gestion des stocks telle que : les systèmes d'information géographique, la technologie des drones et l'industrie 4.0, ces stratégies de gestion du stock de sécurité sont essentielles pour garantir la disponibilité, l'accessibilité et la proximité des fournitures médicales sur les sites de catastrophe (Kumar et al., 2020), (Koshta et al.,2021) et (Gilani Larimi et al.,2022). La gestion efficace des stocks de sécurité revêt donc une importance capitale dans la préparation aux catastrophes et dans la gestion des chaînes d'approvisionnement en soins de santé. En comprenant les défis uniques auxquels sont confrontées ces chaînes d'approvisionnement, il est possible de développer des stratégies efficaces pour renforcer leur résilience et garantir la disponibilité des besoins médicaux essentiels lors de crises et de catastrophes.

2. Méthodologie

Notre approche repose sur une conceptualisation novatrice du stock de soins, où nous considérons un Stock Unitaire de Soins comme un agrégat pondéré de ressources humaines et matérielles, telles que les médecins, les infirmiers, les équipements et les médicaments. Cette approche vise à garantir un niveau de disponibilité adéquat pour répondre à la demande de soins, en particulier dans des situations d'incertitude telles que les fluctuations saisonnières de la bronchiolite dans les hôpitaux algériens.

Dans notre modèle, le dimensionnement du stock de sécurité est basé sur une distribution normale de la demande, en tenant compte de l'incertitude inhérente aux flux de patients. Nous déterminons également un taux de service à garantir, afin d'assurer que les besoins des patients sont satisfaits de manière efficace et opportune. Contrairement à un stock de sécurité traditionnel, qui entraîne des coûts de stockage, notre approche repose sur la mobilisation flexible des ressources humaines et matérielles disponibles au sein du système de santé.

Plus précisément, en cas de pic saisonnier de bronchiolite, nous prévoyons de redéployer les ressources excédentaires, telles que les médecins et les infirmiers, depuis d'autres structures de soins, comme les polycliniques de proximité. Cette stratégie permet de maximiser l'utilisation des ressources existantes tout en minimisant les coûts associés au stockage de ces ressources inutilisées. En conséquence, notre approche offre une solution économiquement viable et efficace pour faire face aux fluctuations saisonnières de la demande de soins.

Pour illustrer l'efficacité de notre approche, nous présenterons une application numérique basée sur un cas réel, démontrant comment notre modèle de gestion des stocks de soins peut être mis en œuvre dans le contexte spécifique des hôpitaux algériens.

Les stocks de sécurité sont essentiellement affectés par six facteurs ; le niveau de service, le délai de livraison, la variabilité de la demande, la politique de commande, la similitude des composants et les coûts de procession. Pour optimiser une stratégie de stock de sécurité, il est crucial de le maintenir à un niveau minimal tout en répondant aux besoins de la demande et des clients exigeants en matière de service dans les délais impartis. Cela nécessite une adaptation aux fluctuations de la demande et à la variabilité des délais de livraison.

En considérant une demande totale pendant une période de délai de livraison $L > 0$ (constant) distribuée normalement avec une moyenne μ_D et un écart type σ_D , la méthode la plus simple pour dimensionner les stocks de sécurité (SS) pour un niveau de service cible α fixe est formulée comme suit :

$$SS = \Phi^{-1}(\alpha)\sigma_D\sqrt{L} \quad \dots (1) \text{ (Gonçalves et al., 2020)}$$

Φ^{-1} la fonction de distribution normale standard cumulative

$\Phi^{-1}(\alpha)$ facteur de sécurité

3. Cas d'étude

L'Hôpital Pédiatrique Canastel d'Oran en Algérie a récemment été confronté à une épidémie de bronchiolite entre octobre 2023 et mars 2024. Le pic de cette épidémie a été observé le 8 janvier 2024, avec un nombre de patients atteignant 80, alors que pendant les périodes normales, en dehors de la saison de la bronchiolite, l'hôpital traite généralement de 1 à 2 patients par jour pour cette affection. La Figure 1 illustre l'historique des arrivées des patients atteints de bronchiolite d'octobre à fin février, mettant en évidence le pic observé en janvier. Cette courbe montre de manière graphique la variation du nombre de patients présentant cette condition respiratoire spécifique au fil des mois, mettant en lumière les périodes de pointe.

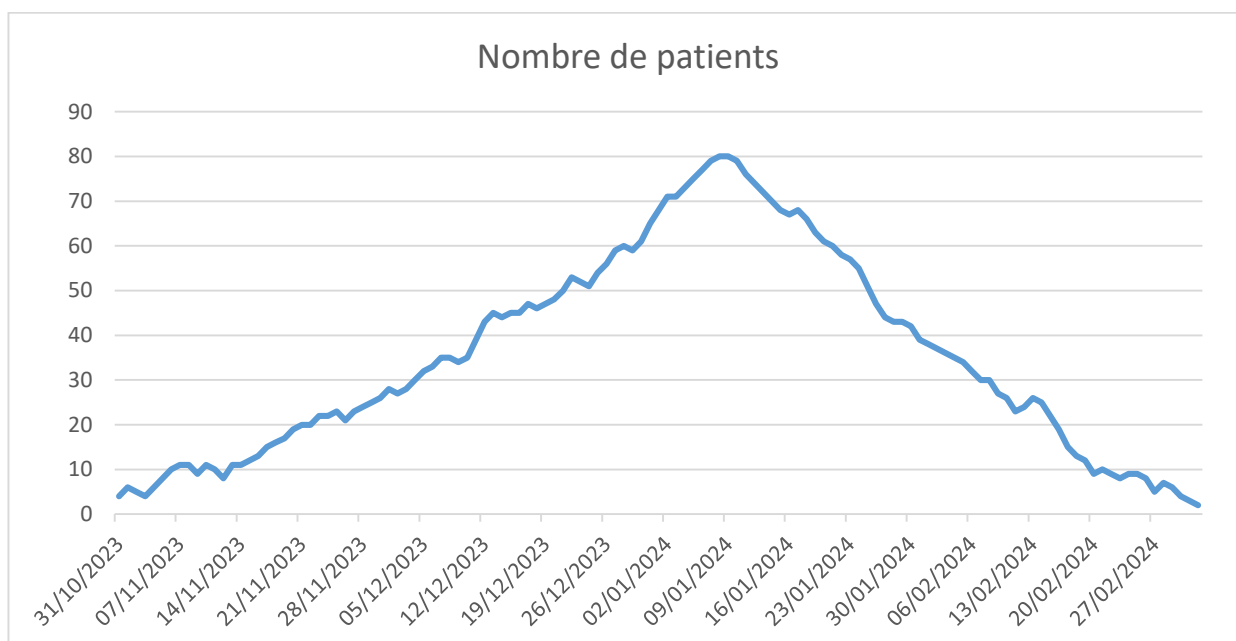


Figure 1. Evolution des cas de bronchiolite à l'hôpital pédiatrique Canastel-Oran

Dans le cadre de notre étude, nous avons mené des entretiens approfondis avec les professionnels de la santé travaillant à l'Hôpital Pédiatrique Canastel afin de comprendre les besoins spécifiques en termes de ressources nécessaires pour chaque patient affecté par la bronchiolite. Les besoins identifiés comprennent non seulement les médicaments essentiels pour traiter les symptômes de la bronchiolite et prévenir les complications, mais aussi les équipements médicaux spécialisés tels que les dispositifs de surveillance respiratoire, les nébuliseurs, les dispositifs d'oxygénothérapie, et les lits d'hospitalisation adaptés aux besoins spécifiques des jeunes patients.

En outre, les besoins en personnel qualifié sont également essentiels pour assurer un traitement approprié et une surveillance continue des patients, en particulier pendant les périodes de pics épidémiques où la charge de travail et la complexité des cas augmentent de manière significative. Les besoins nécessaires identifiés pour 20 patients atteints de bronchiolite sont résumés dans le tableau 1.

Tableau 1 Les besoins nécessaires pour 20 patients atteints de bronchiolite

Personnels	Equipements	médicaments
1 médecin	2 nébuliseurs	10 flacons de sérum salé
2 infirmiers	5 manomètres d'oxygène	5 doses de corticoïdes
	10 masques aérosols	8 doses de bronchodilatateur
	10 seringues	

Pour notre étude, nous définissons comme un Produit Unitaire de Soins (PUS), les proportions de personnel, des équipements et des médicaments ramenés à un patient.

À partir de l'ensemble des besoins identifiés pour 20 patients, tels qu'énumérés dans le tableau 1, les proportions des entités de soins dans le Produit Unitaire de Soins (PUS) sont résumées dans le tableau 2 et la figure 2.

Tableau 2 Proportions des entités dans le « Produit Unitaire de Soins (PUS) »

Entités	Proportions dans le « Produit Unitaire de Soins (PUS) »
Médecin	1/20
Infirmier	2/20
Nébuliseur	2/20
Manomètre d'oxygène	5/20
Masque aérosol	10/20
Seringues	10/20
Flacon de sérum salé	10/20
Dose de corticoïde	5/20
Dose de bronchodilatateur	8/20

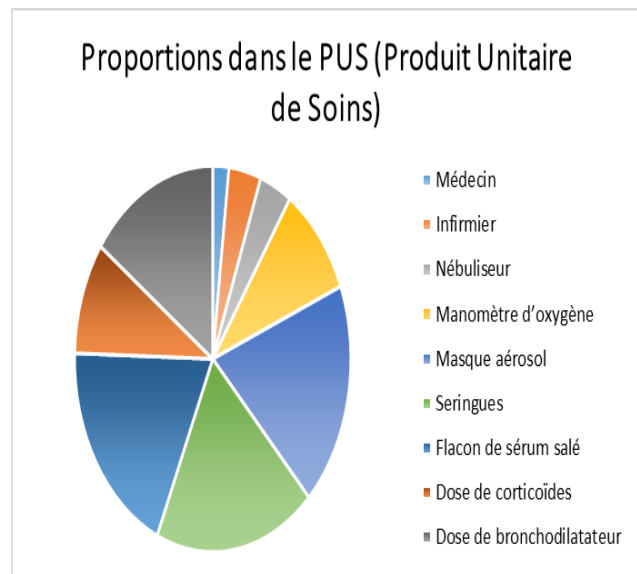


Figure 2 Composition d'un Produit Unitaire de Soins en fonction des entités

Étant donné que nous travaillons dans un environnement hospitalier et que nous traitons des patients, nous considérons également un niveau de service α de 98%. Ce taux élevé est nécessaire pour garantir que les besoins des patients en termes de médicaments, d'équipements et de soins sont pleinement satisfaits, en tenant compte de la complexité et de l'importance des services de santé dans ce contexte. Nous prendrons également en compte une moyenne du délai de livraison de 2 jours. Dans notre cas, cela représente le temps nécessaire pour prévenir et mobiliser les médecins ainsi que le matériel supplémentaire dont nous aurons besoin pour répondre aux besoins des patients.

Nous allons calculer le stock de sécurité nécessaire pour pallier les besoins dans notre cas en utilisant l'équation (1).

Pour :

Un niveau de service $\alpha = 98\%$ ($\Phi^{-1}(\alpha) = 2.06$)

Un écart type de la demande $\sigma_D = 22.82$ (calculé à travers la courbe de l'historique des arrivées des patients atteints de bronchiolite (figure 1))

Une moyenne de délai de livraison $L = 2$

Nous retrouvons $SS = 66$ PUS

L'algorithme proposé dans la figure 3 permet de calculer le nombre de chaque entité du stock de sécurité en fonction des proportions de chaque entité dans le PUS. Les sorties de cet algorithme sont alors les quantités de chaque entité.

```

def calcul(ss, y, type):
    x = ss * y
    # Diviser le résultat en deux parties
    partie_entiere = int(x)
    # Extraire la partie décimale du nombre
    partie_decimale = x - partie_entiere
    # Initialiser les variables
    nombre = 0
    # Partie Personnels
    if type == "Personnels":
        if partie_decimale > 0.5:
            nombre = partie_entiere + 1
        else:
            nombre = partie_entiere
    # Partie Equipements
    if type == "Equipement":
        if partie_decimale > 0.2:
            nombre = partie_entiere + 1
        else:
            nombre = partie_entiere
    # Partie Médicament
    if type == "Medoc":
        if partie_decimale > 0:
            nombre = partie_entiere + 1
        else:
            nombre = partie_entiere
    return nombre

ss = 66
print("Personnels")
y1 = 1 / 20
y2 = 2 / 20
print("le nombre de medecin est :", calcul(ss, y1, "Personnels"))
print("le nombre d'infermier est :", calcul(ss, y2, "Personnels"))
print("")
print("Equipements")
y1 = 2 / 20
y2 = 5 / 20
y3 = 10 / 20
y4 = 10 / 20
print("le nombre de nébuliseur est :", calcul(ss, y1, "Equipement"))
print("le nombre de manomètre d'oxygène est :", calcul(ss, y2, "Equipement"))
print("le nombre de masques est :", calcul(ss, y3, "Medoc"))
print("le nombre de seringues est :", calcul(ss, y4, "Medoc"))
print("")
print("Médicaments")
y1 = 10 / 20
y2 = 5 / 20
y3 = 8 / 20
print("le nombre de flacons est :", calcul(ss, y1, "Medoc"))
print("le nombre de corticoïdes est :", calcul(ss, y2, "Medoc"))
print("le nombre de doses de bro est :", calcul(ss, y3, "Medoc"))

```

Figure 3 Calcul des entités par type selon les proportions du PUS pour un SS donné.

Par exemple, dans notre cas avec un stock de sécurité de 66 PUS, nous avons déterminé les besoins illustrés dans la figure 4.

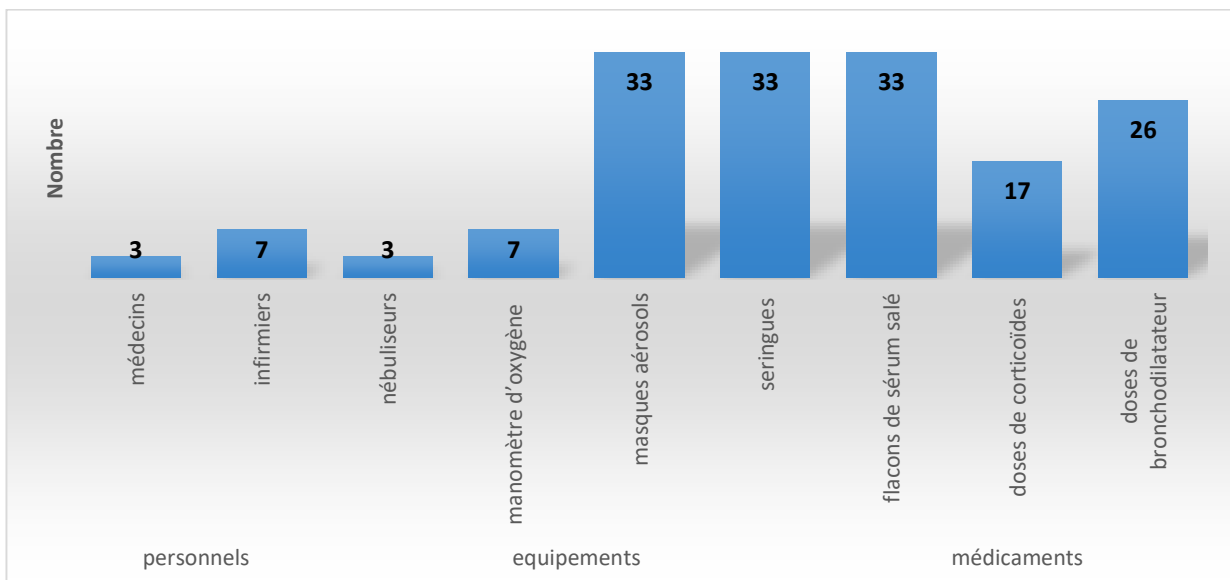


Figure 4. Les besoins nécessaires pour crise de bronchiolite avec un pic de 80 patients

En simulant différents scénarios, dont un pic de 100 et un autre de 120, la figure illustre de manière évidente la relation directe entre l'ampleur des pics de crise de bronchiolite et les niveaux correspondants de stock de sécurité requis, soulignant ainsi la nécessité d'une augmentation proportionnelle du stock pour faire face à des crises plus importantes.

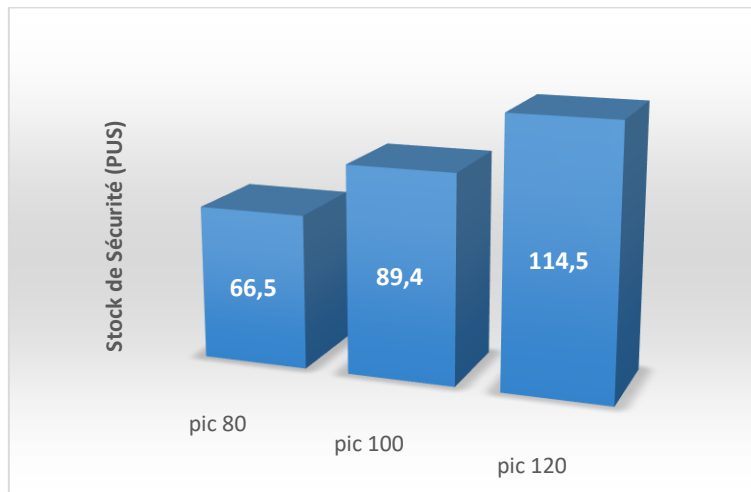


Figure 5 Stock de sécurité pour différents scénarios

Pour le scénario avec un pic de 120, nous avons calculé les besoins en stock de sécurité, dont les résultats sont illustrés dans la figure 6 comparativement aux besoins pour notre cas (pic 80). Nous observons ainsi une augmentation proportionnelle plus importante des besoins en équipement et médicaments par rapport au personnel, mettant en évidence l'extensibilité de la capacité des médecins et infirmiers et démontrant une plus grande résilience du personnel.

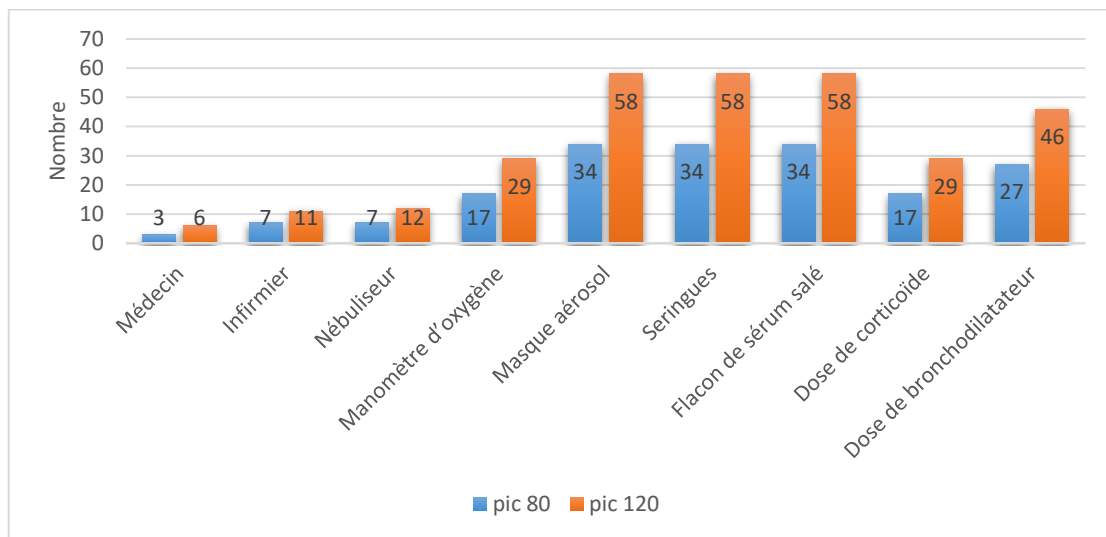


Figure 6 Comparaison des besoins en entité pour des pics de crise de bronchiolite de 80 et 120

Conclusion

Cet article explore la méthodologie de calcul de stock de sécurité de « soins » basée sur le concept de Produit Unitaire de Soins. Nous avons considéré une demande en soins suivant une loi de distribution normale. Nous avons appliqué cette approche, pour le dimensionnement du stock de sécurité (composé de Produits Unitaires de Soins), vis-à-vis d'un pic épidémique de bronchiolite, 'Hôpital Pédiatrique Canastel d'Oran en Algérie. Ce pic de 80 patients le 8 janvier 2024, comparé à 1 à 2 patients quotidiens habituels, impacte forcément les délais de prise en charge des patients, avec une pression sur les ressources de l'Hôpital. Les besoins en personnel, équipements et médicaments ont été identifiés pour chaque patient, et un stock de sécurité a été calculé pour répondre à la demande croissante. A travers cette approche, nous pouvons améliorer la résilience du système de soins, en prévoyant un stock de sécurité en PUS, permettant de répondre à un accroissement des demandes de soins, tout en garantissant un taux de service élevé.

Références

- Dixit, A., & Dutta, P. (2024). Thematic review of healthcare supply chain in disasters with challenges and future research directions. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 100, 104161. [<https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.104161>].
- Friday, D., Savage, D. A., Melnyk, S. A., Harrison, N., Ryan, S., & Wechtler, H. (2021). A collaborative approach to maintaining optimal inventory and mitigating stockout risks during a pandemic: capabilities for enabling health-care supply chain resilience. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 11 (2), 248–271. [<https://doi.org/10.1108/JHLSCM-07-2020-0061>].
- Gonçalves, J. N. C., Sameiro Carvalho, M., & Cortez, P. (2020). Operations research models and methods for safety stock determination: A review. *Operations Research Perspectives*, 7, 100164. [<https://doi.org/10.1016/j.orp.2020.100164>].
- Gilani Larimi, N., Azhdari, A., & Ghousi, R. (2022). Integrating GIS in reorganizing blood supply network in a robust-stochastic approach by combating disruption damages. *Socio-Economic Planning Sciences*, 82. [<https://doi.org/10.1016/j.seps.2022.101250>].
- Koshta, N., Devi, Y., & Patra, S. (2021). Aerial bots in the supply chain: a new ally to combat COVID-19. *Technological Forecasting and Social Change*, 166. [<https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101646>].
- Kumar, M. S., Raut, D. R. D., Narwane, D. V. S., & Narkhede, D. B. E. (2020). Applications of industry 4.0 to overcome the COVID-19 operational challenges. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, 14 (5), 1283–1289. [<https://doi.org/10.1016/j.dsx.2020.07.010>].
- Stecca, G., Baffo, I., & Kaihara, T. (2016). Design and operation of strategic inventory control system for drug delivery in healthcare industry. *IFAC-PapersOnLine*, 904–909. [<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.890>].
- Zhong, S., et al. (2014). Development of hospital disaster resilience: Conceptual framework and potential measurement. *Emergency Medicine Journal*, 31(11), 930–938.
- Zhu, S., Li, D., & Feng, H. (2019). Is smart city resilient? Evidence from China. *Sustainable Cities and Society*, 50, 101636.