



***Intelligence Artificielle et Santé :***  
***Fil Rouge - Etude et analyse de la chaîne***  
***logistique des services des urgences adultes (SUA)***

**ÉTUDIANTS :** Hugo DE BARROS ARAUJO  
Clément INGELAERE  
Hugo JOUAN  
Hassen NEMRI  
Malo RUELLE  
Gabriel SOUZA E SILVA  
Tom VAUCOURT

# Table des matières

<b>1. Introduction</b>	<b>4</b>
1.1. Description du terrain d'expérimentation « les Services des Urgences Adultes (SUA) du CHU de Lille »	4
1.2. Définir les problèmes de l'ordonnancement aux SUA	4
1.3. Analyse de la visite des SUA	5
<b>2. Analyse de données</b>	<b>5</b>
2.1. Méthode utilisée	5
2.2. Nombre de patients aux urgences par heure, jours et par mois	6
Saisonnalité hebdomadaire	6
Saisonnalité annuelle	6
2.3. Nombre de patients en UHCD depuis plus de 10h	7
2.4. Nombre de patients en UHCD depuis plus de 24h	7
2.5. Temps d'attente de passage moyens en fonction du niveau de gravité	8
2.6. Nombre de patients ayant eu recours à un examen complémentaire	9
2.7. Nombre d'hospitalisations depuis 3 jours	10
2.8. Nombre de transferts pour manque de places depuis 24h	10
2.9. Durée moyenne d'attente depuis 2h	11
Saisonnalité annuelle	12
Saisonnalité hebdomadaire	12
2.10. Moyenne de présence aux urgences	13
Saisonnalité annuelle	13
Les données sont moins corrélées aux mois et jours de l'année ici. On remarque quand même toujours que les patients passent plus de temps au SUA les mois hivernaux que les mois estivaux.	13
Saisonnalité hebdomadaire	13
2.11. Nombre de passages au cours des dernières 24h	14
2.12. Nombre de patients par pathologie	14
Saisonnalité annuelle	14
Saisonnalité hebdomadaire	19
2.13. Nombre de CCMU 4 et 5 présents (patients graves)	22
Saisonnalité annuelle	22
Saisonnalité hebdomadaire	22
2.14. Taux d'occupation (TO) ponctuel	23
2.15. Nombre de patients présents par médecin	23
2.16. Nombre de patients présents par infirmier	24
<b>3. Apprentissage et prédition</b>	<b>24</b>
3.1. Méthode utilisée	24
3.2. Prédition de la loi d'arrivée des patients au SUA	25
3.3. Prédition de la durée du traitement	25
3.4. Prédition de la charge du personnel médical par jour/par mois/par an ...	26
3.5. Prédition du temps d'attente par pathologie en fonction du jour et de l'heure d'arrivée	26
3.6. Prédition de la durée de séjour en fonction de l'heure d'arrivée	30

<b>4. Ordonnancement</b>	<b>31</b>
4.1. Les méthodes métaheuristiques	31
4.2. Méthode Recuit Simulé	33
4.3. Méthode Algorithme Génétique	34
4.4. Méthode Tabou	35
4.5 Conclusion	36
Système Multi Agents	36
Analyse des Performances	36
<b>5. Modélisation workflow du parcours patient</b>	<b>37</b>
5.1. Introduction à la notion de workflow	37
5.2. Pourquoi le workflow ?	37
5.3. Les modèles réalisés du parcours patient aux SUA	38
5.4. Conclusion et perspectives d'amélioration	43
<b>6. IoT et la santé</b>	<b>44</b>
6.1. IoT et disponibilités des lits d'aval	45
6.2. IoT & évolution de l'état de santé des patients	45
<b>7. Résumé des conférences des intervenants extérieures</b>	<b>46</b>
7.1. Régis Beuscart	46
7.2. Jean-Baptiste Beuscart	47
7.3. Grégoire Ficheur	48
7.4. Jean-Marie Renard	49
7.5. Michèle Vasseur	50
7.6. C. Delannoy-Rousselière	50
<b>8. Annexes</b>	<b>50</b>
<b>9. Bibliographie</b>	<b>51</b>

# **1. Introduction**

## **1.1. Description du terrain d'expérimentation « les Services des Urgences Adultes (SUA) du CHU de Lille »**

Le service d'urgence d'un hôpital exige un haut degré d'attention et de responsabilité. C'est dans le secteur des urgences qu'arrivent généralement les patients les plus graves, comme les cas d'accidents, les maladies contagieuses et les crises cardiaques. La prise en charge de ces patients doit donc être optimisée au maximum, car le temps d'attente peut être crucial pour la survie de la personne.

Afin d'améliorer la gestion du Service des Urgences Adultes du CHU de Lille, une étude utilisant différents outils d'intelligence artificielle et d'analyse de données a été réalisée.

Une base de données contenant des informations sur plus de 330 000 patients venus aux urgences entre juin 2016 et juin 2020 a été utilisée pour effectuer l'analyse des données. La base de données contient des informations importantes telles que l'historique des maladies et des interventions chirurgicales, la température, la fréquence cardiaque, les examens et procédures effectués, le diagnostic du patient, entre autres.

Avec les données disponibles, il est possible de calculer différents paramètres qui seront utiles pour améliorer la logistique du service d'urgence, la gestion des ressources et réduire le temps d'attente et de traitement de chaque patient.

## **1.2. Définir les problèmes de l'ordonnancement aux SUA**

Lors d'une garde d'urgence, un grand nombre de patients arrive et doit être pris en charge, chacun ayant ses propres spécificités. Ces spécificités doivent être analysées et respectées. Ainsi, dans un hôpital, l'ordre d'arrivée ne sera pas forcément suivi car il y a des cas plus graves que d'autres.

Il est donc nécessaire de créer un ordonnancement des patients qui respecte à la fois la gravité de chaque cas et optimise la durée de séjour du patient et les ressources de l'hôpital - ressources humaines et matérielles.

La principale difficulté de l'ordonnancement est donc d'évaluer quels aspects du patient seront prioritaires pour les soins. Les caractéristiques telles que l'âge, l'historique de la maladie, la température, la fréquence cardiaque, les symptômes de la douleur sont importantes pour définir les priorités en matière de soins urgents.

En outre, les ressources hospitalières étant limitées - médecins, infirmières, salles de chirurgie, machines d'examen - il est également nécessaire d'optimiser la logistique et la gestion des soins.

### **1.3. Analyse de la visite des SUA**

Lors de notre visite de l'hôpital avec Monsieur Renard, nous avons fait un tour complet du service pédiatrique des urgences. Le médecin nous a tout d'abord décrit le fonctionnement global du CHU. Tout d'abord, il y a certains points logistiques à retenir : il y a une distance géographique assez grande à prendre en compte entre les services. Une spécificité du CHU de Lille dûe à la très grande distance à parcourir entre certains services est que les réanimations médicales ont été regroupées dans un seul bâtiment, mis à part les réanimations opératoires qui doivent rester près des blocs d'opération.

Comme les infrastructures sont très lourdes, il faut au moins 30 ans avant qu'un bâtiment soit renouvelé, donc les bâtiments actuels ont été pensés dans les années 1980. A cause de l'inertie des infrastructures, mais aussi à cause de facteurs personnels, certains changements utiles sont extrêmement difficiles à mettre en œuvre (par exemple la dispersion des modes de transport entre les différents blocs). On a également accéléré grandement le processus des envois d'échantillons sanguins en mettant en place un système d'envoi par tuyaux.

Niveau administratif, on a un premier accueil avec des infirmiers qui renseignent le dossier patient. C'est le fichier équivalent à notre base de données. On a ensuite deux types de circuit: circuit court et circuit long. Pour le circuit court, il y a peu d'examens et pas d'hospitalisations car c'est ouvert seulement en journée.

Niveau informatique, le réseau est globalisé sur tout le CHU avec plus de 8000 postes, c'est donc possible d'avoir les dossiers patients de tous les services pour faire de l'ordonnancement.

## **2. Analyse de données**

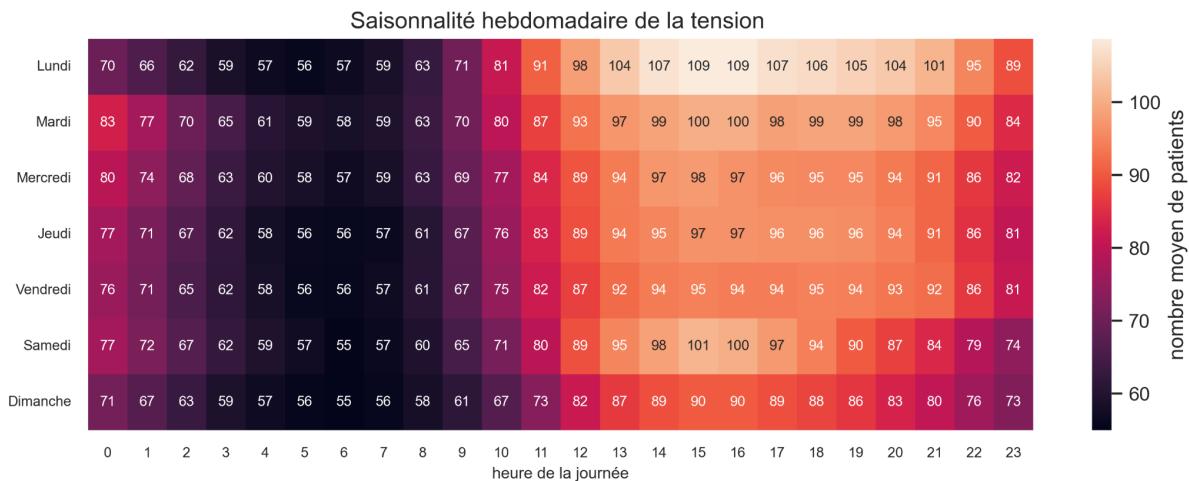
### **2.1. Méthode utilisée**

Nous allons évaluer la tension au sein du SUA. Pour ce faire, il nous faut connaître, à tout moment, le nombre de personnes présentes aux urgences, qu'elles soient en train d'attendre ou en train d'être prises en charge. Nous effectuons ainsi une somme cumulative des arrivées et une somme cumulative des départs, chaque arrivée et départ étant associé à une date et heure. La différence de ces deux sommes nous donne le nombre de personnes présentes au SUA à un moment donné.

Nous étudions ensuite la saisonnalité de cette tension, de manière hebdomadaire puis annuelle.

## 2.2. Nombre de patients aux urgences par heure, jours et par mois

### Saisonnalité hebdomadaire

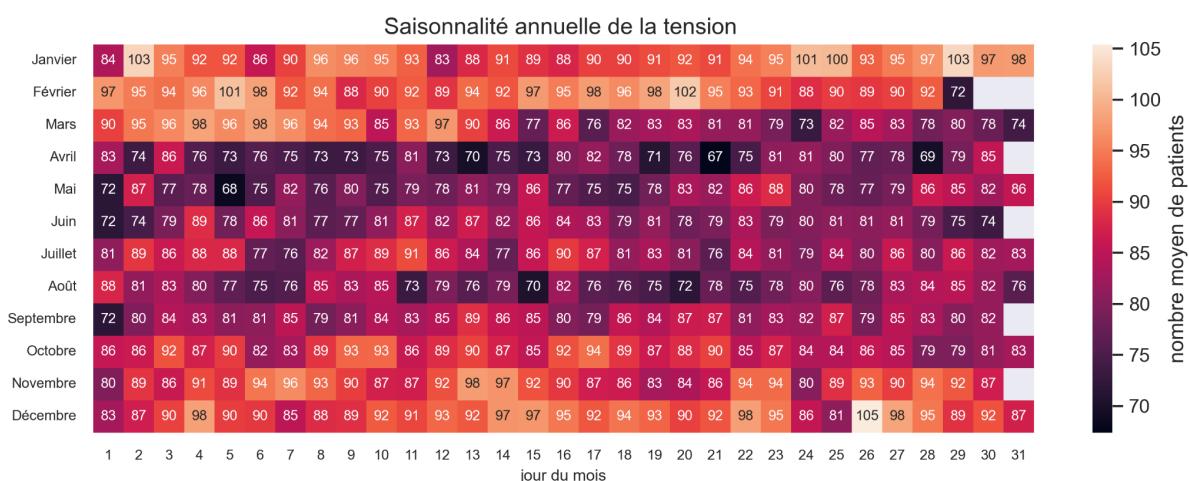


On remarque que la tension est concentrée sur trois périodes où plus de 100 personnes par heure en moyenne sont présentes au SUA :

- le lundi après-midi et soir de 13h à 22h
- le mardi après-midi de 15h à 17h
- le samedi après-midi de 15h à 17h.

La période la plus notable est le **lundi après-midi et soir** qui est de loin la plus chargée.

### Saisonnalité annuelle



On peut dégager plusieurs tendances de ce tableau:

- Le nombre de patients aux urgences semble plus élevé en hiver qu'en été

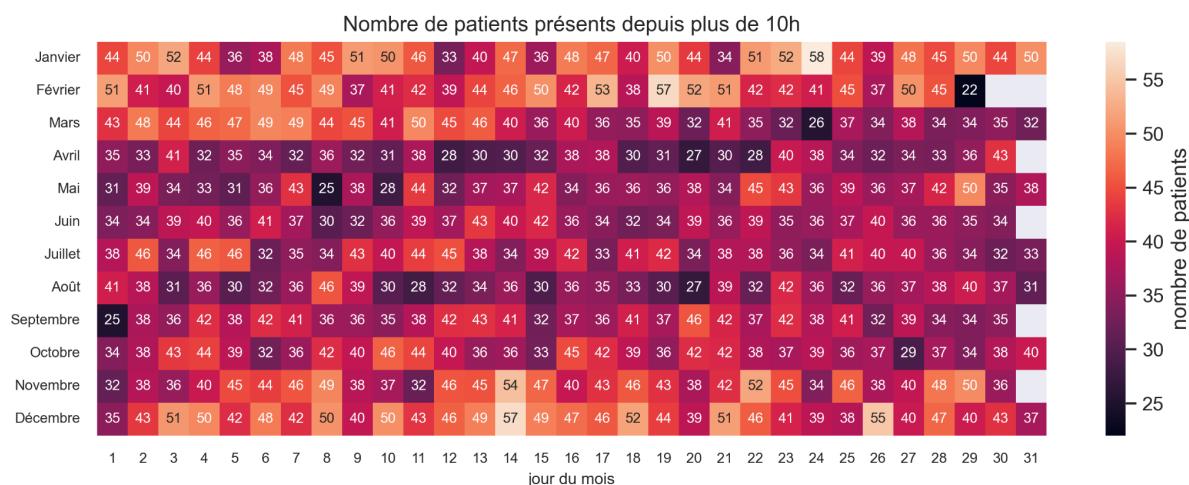
- Les surlendemains des jours de fête (Noël, jour de l'an, fête nationale, veilles de jour fériés) sont particulièrement chargés
- Il semble y avoir plus de patients en saison hivernale

On confirme cette dernière tendance en examinant la moyenne du nombre de patients présents par saison :



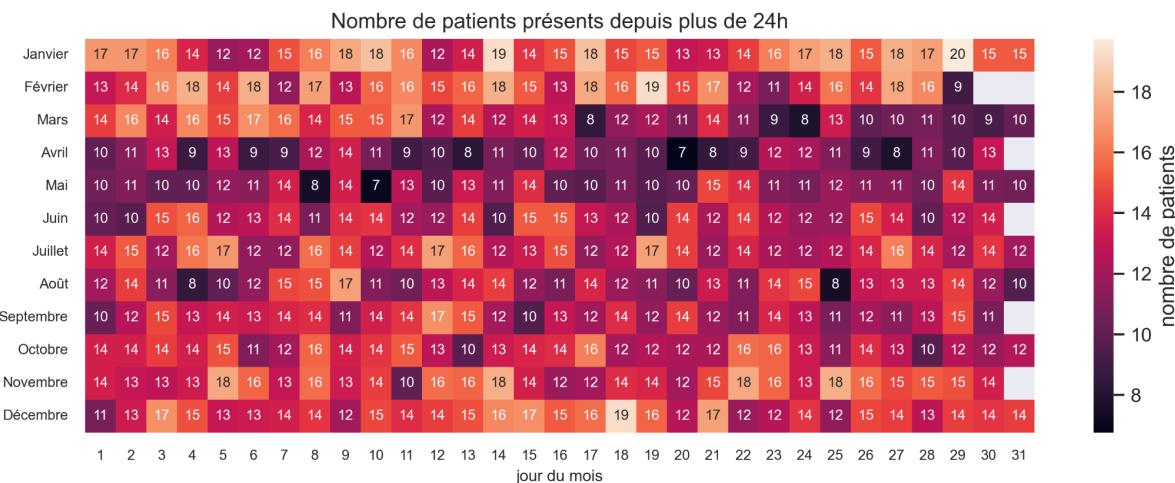
Il y a plus de 10% d'activité supplémentaire en automne et en hiver par rapport à la période estivale.

### 2.3. Nombre de patients en UHCD depuis plus de 10h



Ici, la tendance est décalée d'environ un jour.

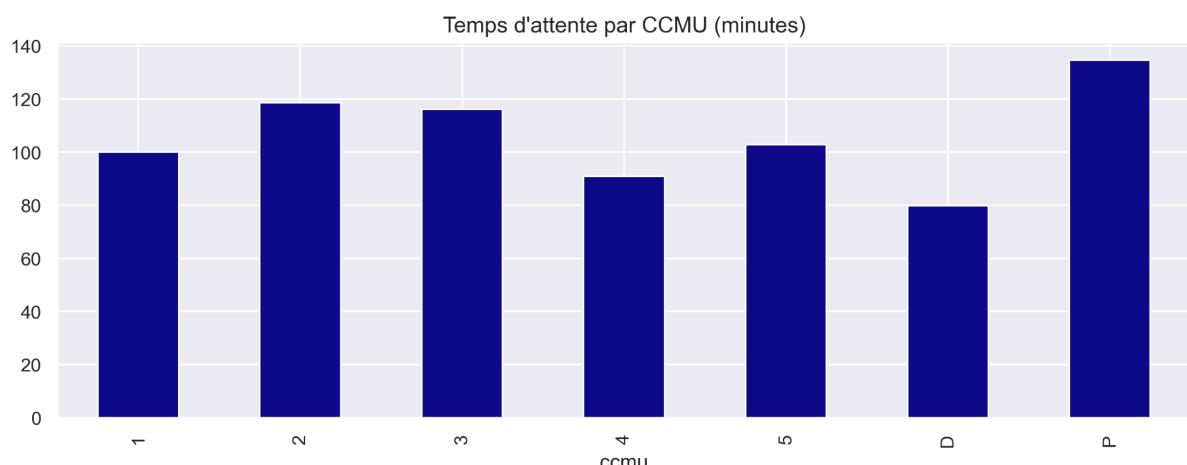
## 2.4. Nombre de patients en UHCD depuis plus de 24h



On retrouve des tendances similaires à la tension, décalées de 5 à 7 jours.

Autrement dit, il y a souvent un pic d'arrivée de patients graves (et donc qui vont rester plus de 24h) 5 à 7 jours avant les pics de tension.

## 2.5. Temps d'attente et de passage moyens en fonction du niveau de gravité

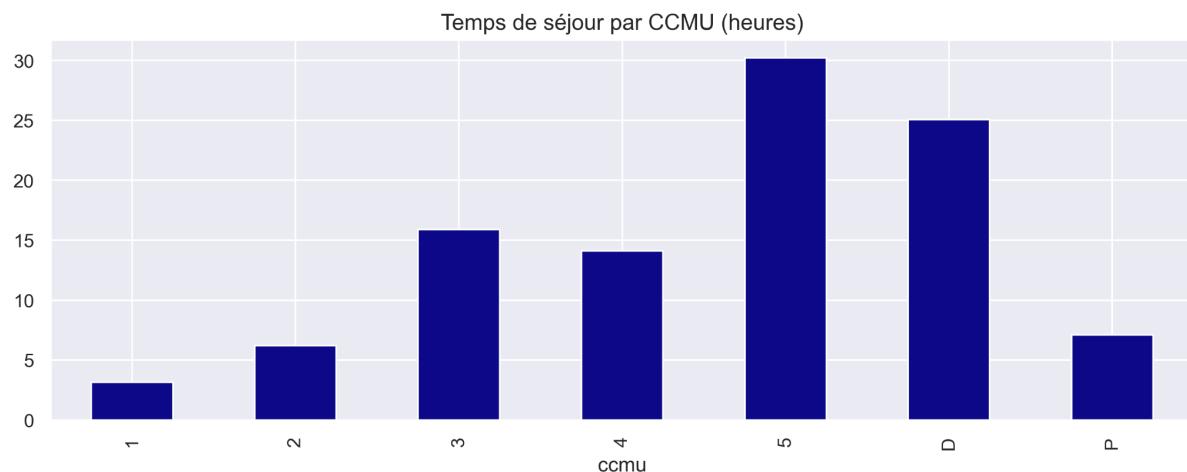


On peut remarquer que les patients qui attendent le plus longtemps sont ceux présentant un problème psychologique et/ou psychiatrique dominant (code CCMU P). Cela peut s'expliquer par l'absence de danger immédiat que la condition s'aggrave, il n'est pas aussi urgent de les traiter que les patients présentant une pathologie somatique instable.

Les patients de CCMU 1 ont un temps d'attente court car aucun acte complémentaire n'est pratiqué sur eux au SUA. On peut donc rapidement les diagnostiquer et les renvoyer chez eux.

On constate ensuite une tendance à la baisse du CCMU 2 au CCMU 4. Il paraît évident que plus l'état d'un patient est grave, plus il va être pris en charge rapidement. Cependant, ce temps d'attente remonte pour les CCMU 5.

On peut émettre l'hypothèse que c'est parce que des manœuvres de réanimation ont immédiatement été mises en œuvre (définition du CCMU 5). Ainsi, le patient n'est pas immédiatement pris en charge par le SUA car il est déjà en cours de réanimation.

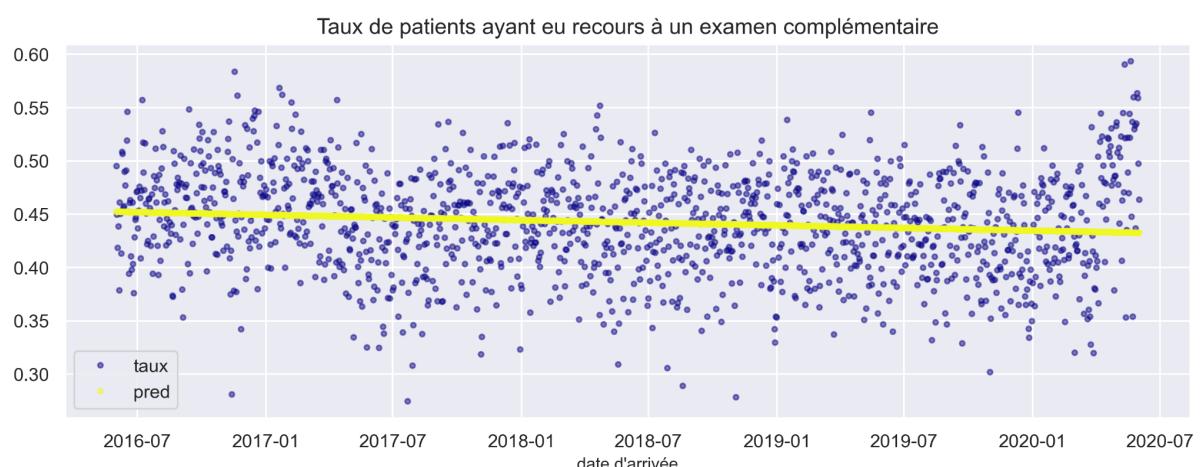


Le temps de séjour en fonction du CCMU augmente avec la gravité, mis à part pour le CCMU 4. On peut émettre l'hypothèse que le temps de séjour des patients de CCMU 3 est supérieur à ceux des patients de CCMU 4 car le traitement des patients de CCMU 4 est considéré comme plus urgent que ceux de CCMU 3. En effet, la différence entre les deux codes est que le pronostic vital des patients de CCMU 3 n'est pas engagé, bien qu'ils soient déjà dans un état grave.

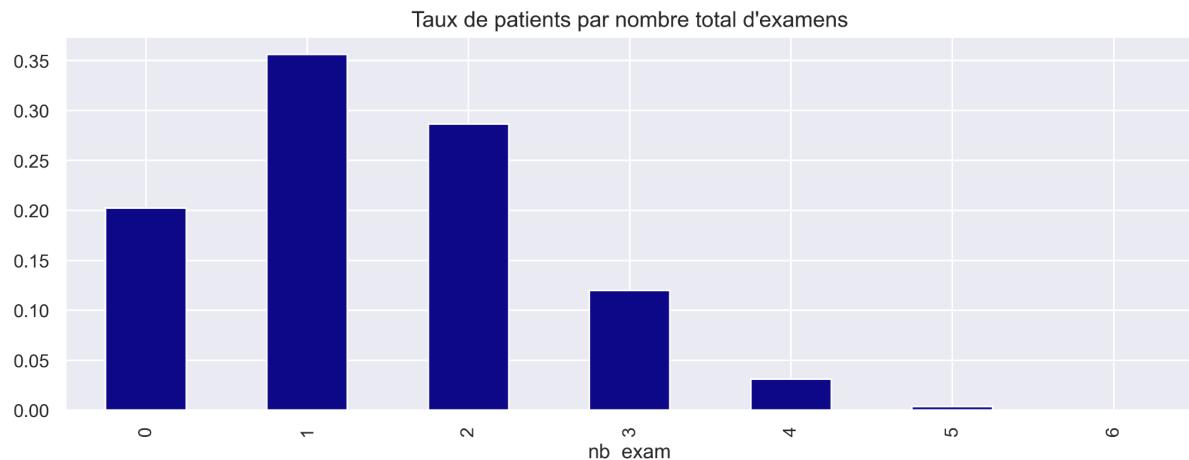
Cette hypothèse est partiellement confirmée par le graphe précédent qui montre que les patients de CCMU 4 sont en moyenne pris en charge 25 minutes plus rapidement que les patients de CCMU 3.

## 2.6. Nombre de patients ayant eu recours à un examen complémentaire

Nous allons voir la répartition des examens complémentaires par patient parmi les examens de : biologie, radiologie, radiographie, scanner, IRM et l'avis supplémentaire d'un spécialiste.



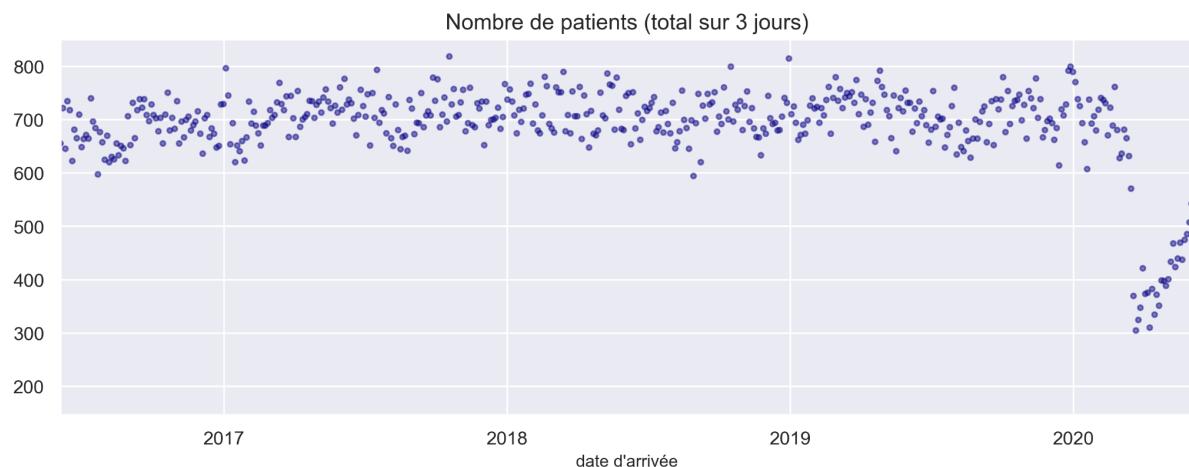
On peut voir qu'environ 44% des patients ont recours à un examen complémentaire. De plus, la régression linéaire nous montre que cette tendance était à la baisse avant la période du COVID-19, où la tendance repart clairement à la hausse.



Ici, nous pouvons voir que la plupart des patients effectuent un seul examen complémentaire.

## 2.7. Nombre d'hospitalisations depuis 3 jours

Nous effectuons ici une moyenne du nombre d'arrivées de patients sur 3 jours.

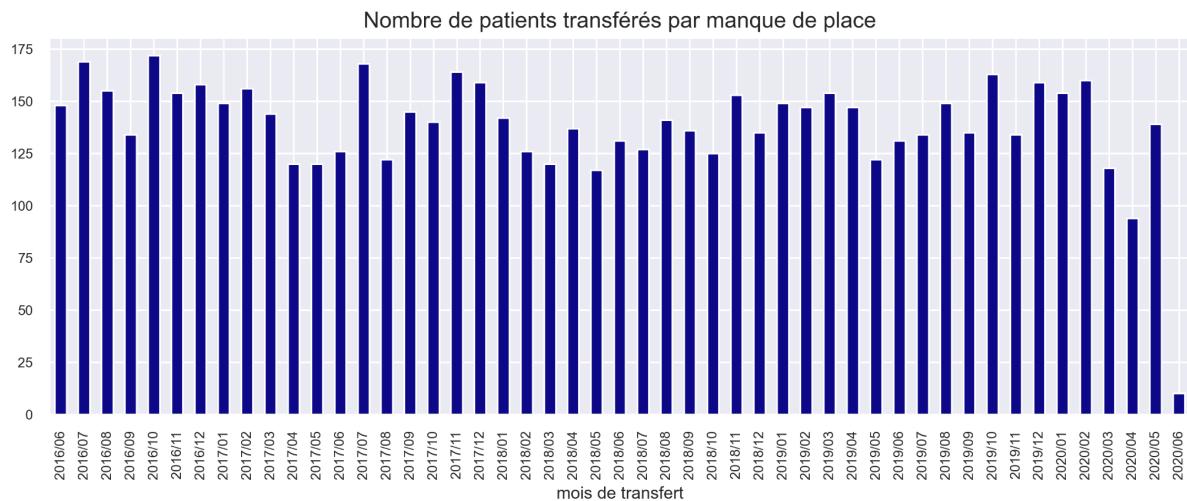


La tendance est à la hausse jusqu'à la période précédant la période du COVID-19.

## 2.8. Nombre de transferts pour manque de places depuis 24h

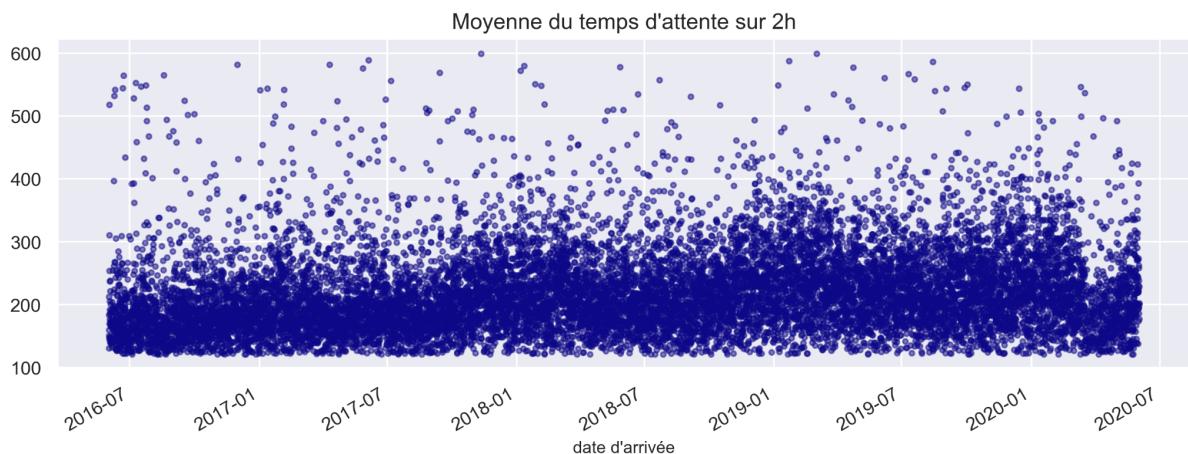
La raison "transfert pour manque de place" existe bien dans le fichier de données mais elle n'est utilisée qu'une trentaine de fois dans tout le fichier. Il semble donc que ce motif n'ait pas été systématiquement renseigné par le personnel médical.

Nous nous sommes donc concentrés sur le motif “transfert externe” qui signifie que le patient a été transféré dans un autre établissement de santé. Il y a ainsi environ 135 patients transférés par mois.

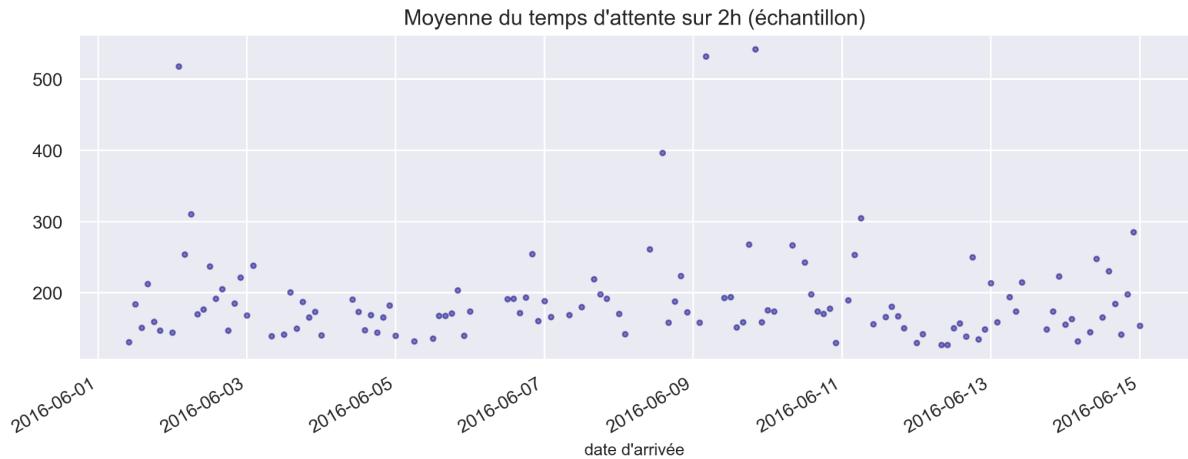


## 2.9. Durée moyenne d'attente depuis 2h

Parmi tous les patients, plusieurs centaines de durées d'attente nous ont paru aberrantes. Certaines allaient jusqu'à plusieurs dizaines de jours. Comme elles semblaient provenir d'erreurs, nous nous sommes restreints aux durées d'attentes inférieures à 6h pour ce graphe.

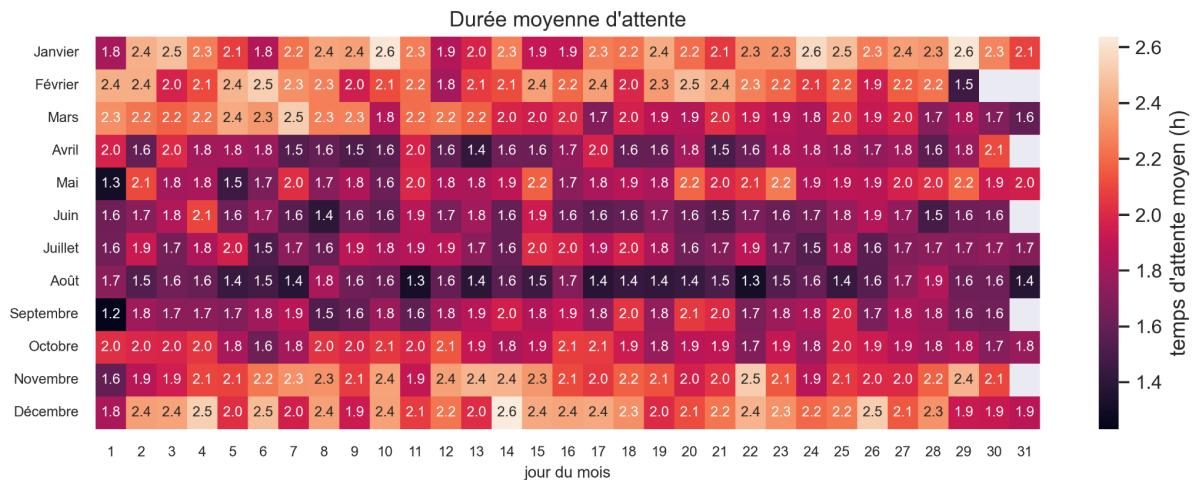


On constate une tendance à la hausse sur tout le jeu de données.



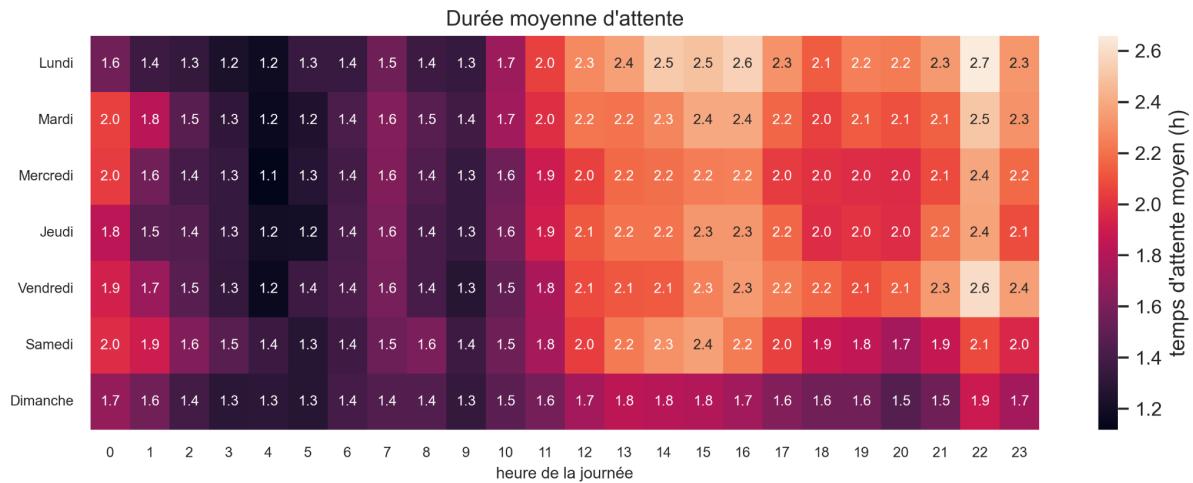
Sur cet échantillon de données, chaque point représente la moyenne de durée d'attente des patients sur les 2h précédentes.

### Saisonalité annuelle



Sur ce graphe, on peut voir que la durée d'attente a une forte saisonnalité annuelle. Elle est tout d'abord plus élevée en période hivernale qu'en période estivale. De plus, les surlendemains de jours de fête sont marqués par une durée d'attente élevée, ce qui confirme les données que nous avons déjà étudiées sur la tension. Ainsi, une tension plus élevée entraîne des durées d'attentes supérieures pour les patients.

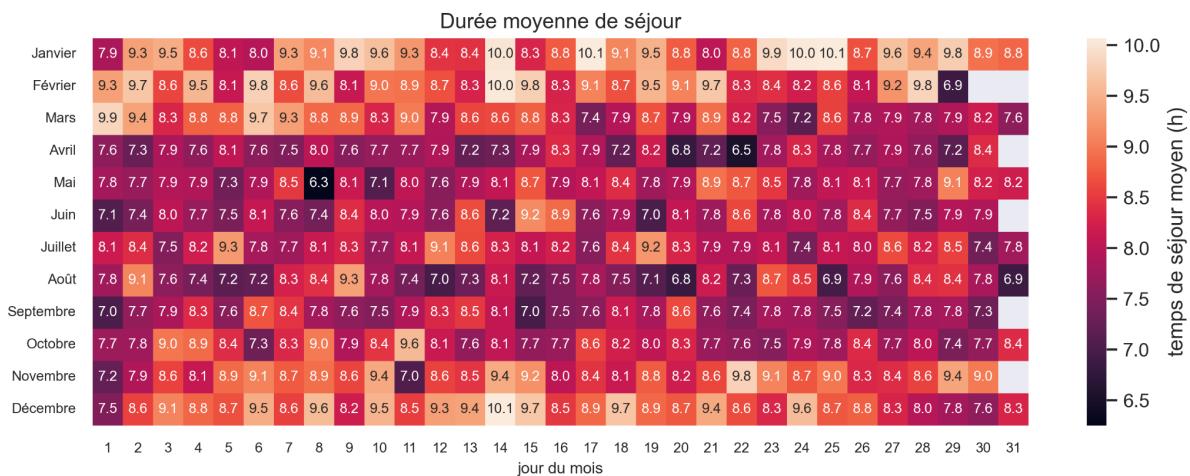
## Saisonnalité hebdomadaire



On remarque ici une saisonnalité similaire à la tension,. De plus, on peut constater que l'attente de 12h à 0h est toujours supérieure à 2h, sauf les samedis soirs et dimanches. Lundi est la journée où l'attente est la plus élevée en moyenne.

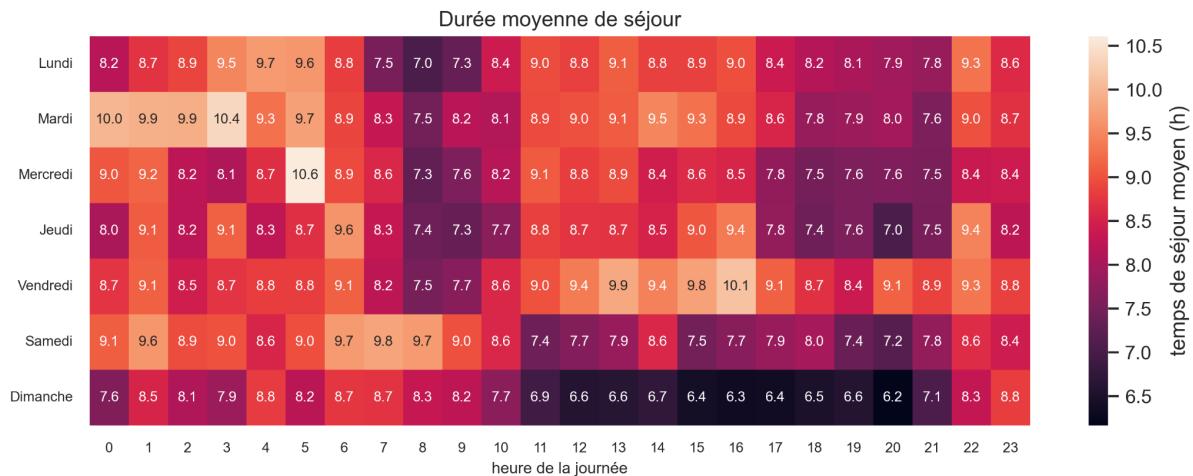
## 2.10. Moyenne de présence aux urgences

### Saisonnalité annuelle



Les données sont moins corrélées aux mois et jours de l'année ici. On remarque quand même toujours que les patients passent plus de temps au SUA les mois hivernaux que les mois estivaux.

## Saisonnalité hebdomadaire



On remarque ici que les patients arrivant le mardi tôt dans la nuit passent le plus de temps au SUA. C'est sûrement car le lundi soir est une période particulièrement chargée et les patients attendent probablement plus longtemps, pas avant d'être pris en charge, mais avant de passer les examens et de recevoir les résultats de ces examens.

### 2.11. Nombre de passages au cours des dernières 24h

Cette statistique est identique à celle calculée en 2.2.

### 2.12. Nombre de patients par pathologie

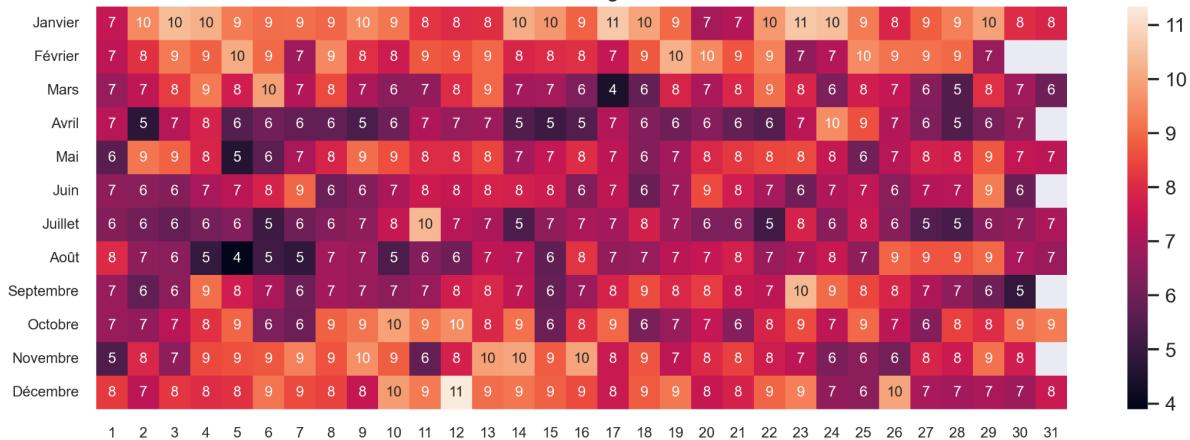
Afin d'obtenir cette statistique, nous avons classé les patients par pathologie. Nous avons utilisé la colonne "motif venue". Cependant, il y a 6844 pathologies différentes dans cette colonne. Il nous faut grandement réduire leur nombre.

Nous avons utilisé les premiers mot de chaque ligne à chaque fois, et avons seulement retenu les pathologies pour lesquelles il y a eu le plus de patients. Cela nous donne 10 pathologies : '**Traumatologie**', '**Gastro-entérologie**', '**Stomatologie**', '**Cardiologie**', '**Neurologie**', '**Orl**', '**Rhumatologie non traumatique**', '**Uro-néphrologie**', '**Pneumologie**' et '**Psychiatrie**'. On classe les patients restant dans la pathologie '**Autre**'.

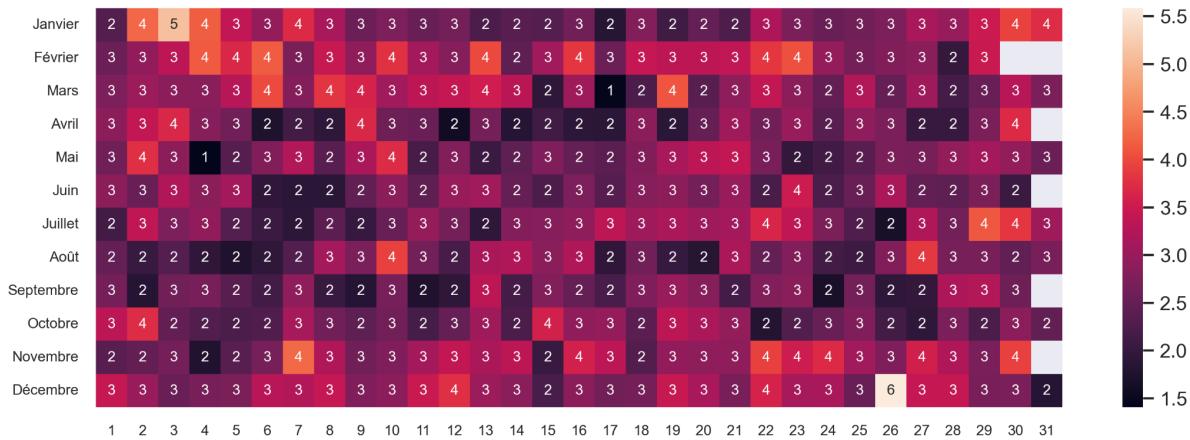
Nous pouvons désormais analyser la saisonnalité de ces pathologies. Le nombre dans chaque case est le nombre **maximum** de patients lors de cette journée.

## Saisonnalité annuelle

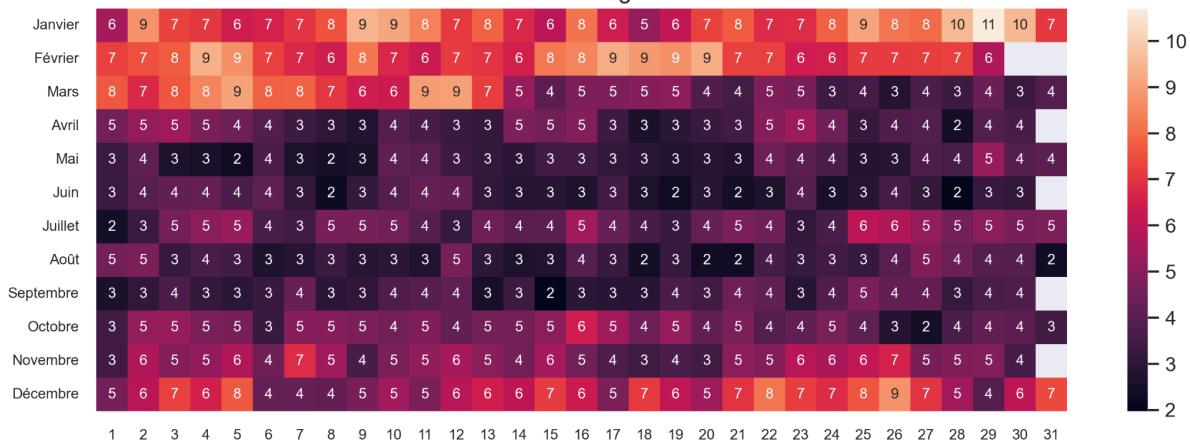
Neurologie



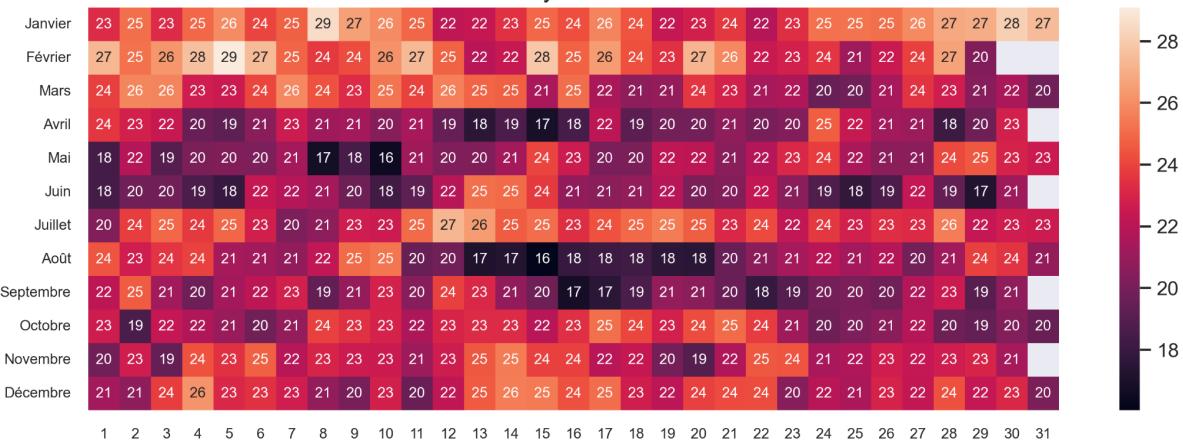
Orl



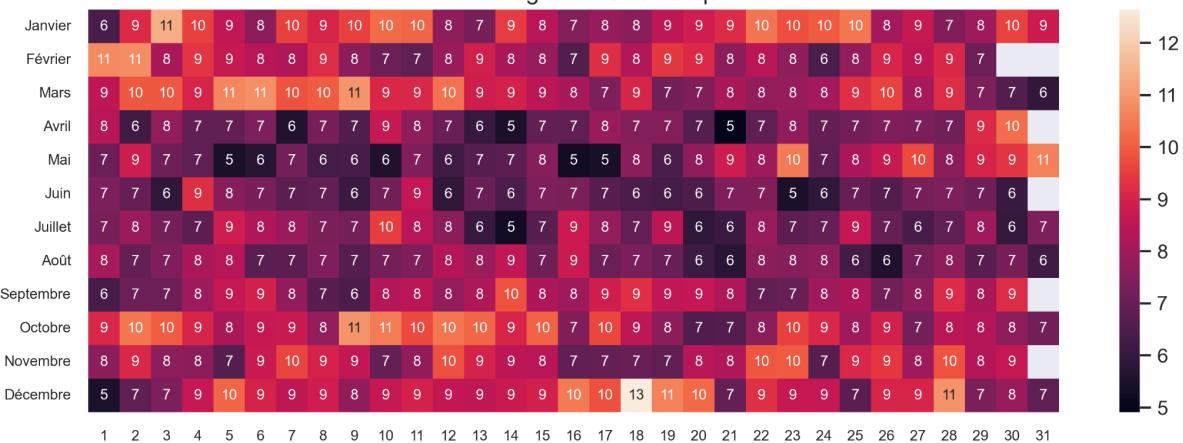
Pneumologie



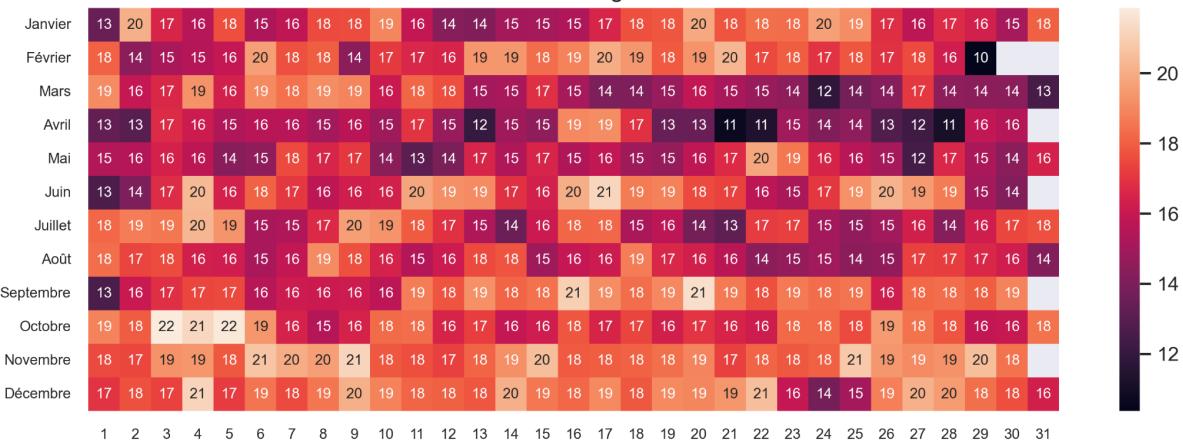
### Psychiatrie



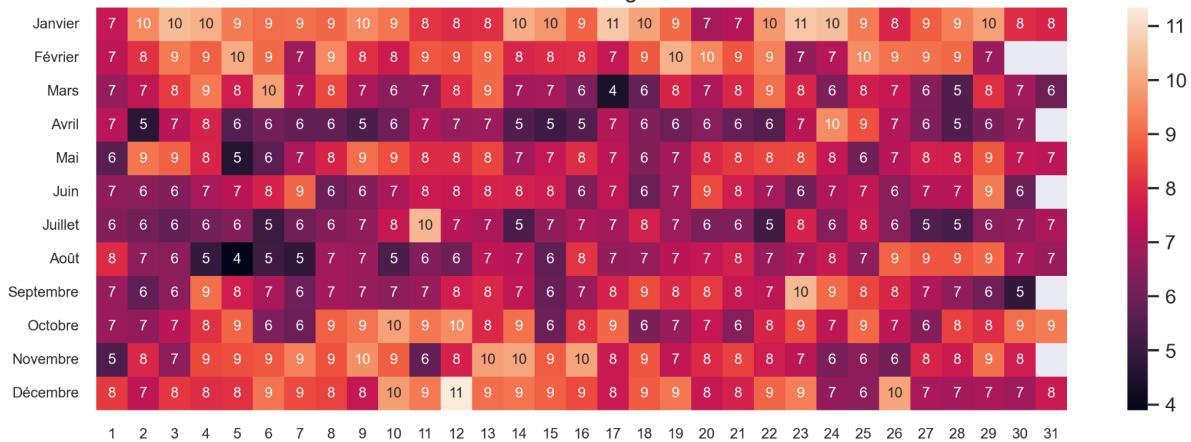
### Rhumumatologie non traumatique



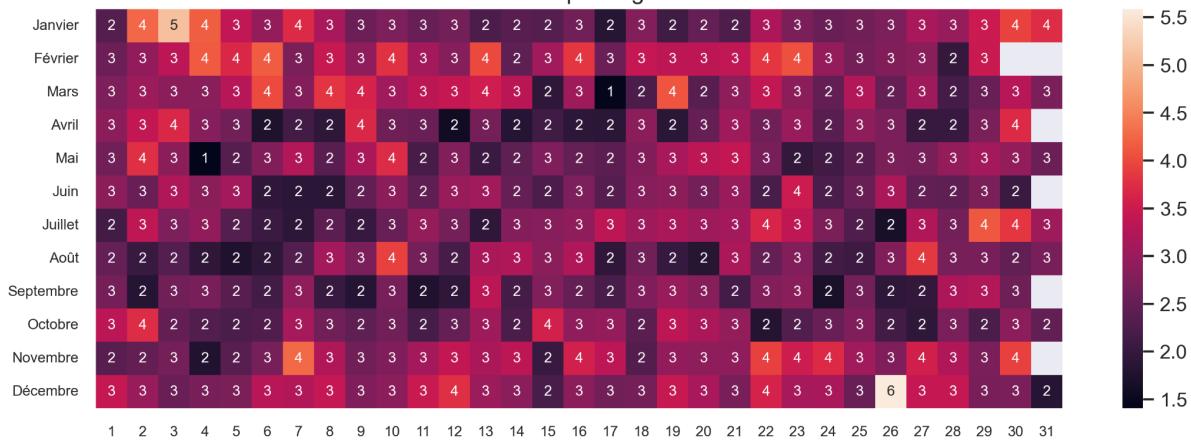
### Stomatologie



### Traumatologie

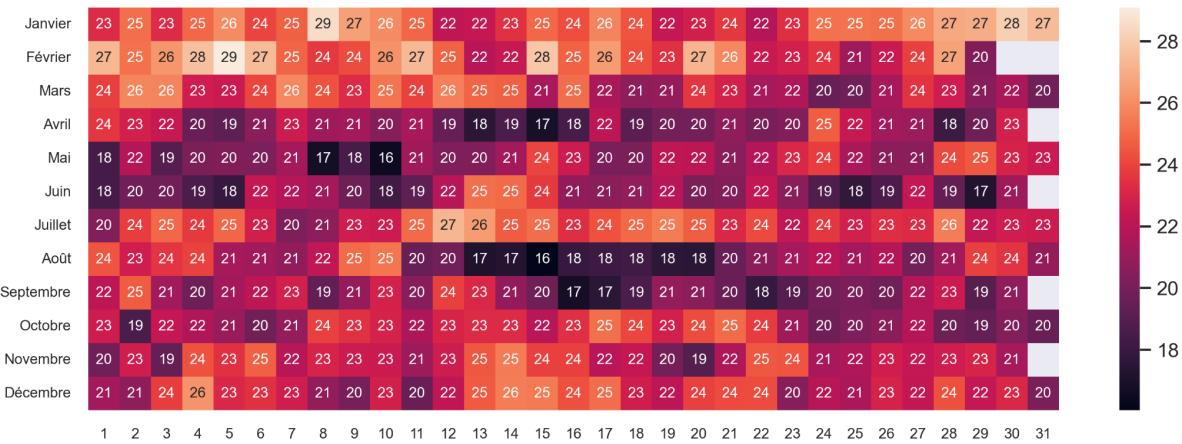


### Uro-néphrologie

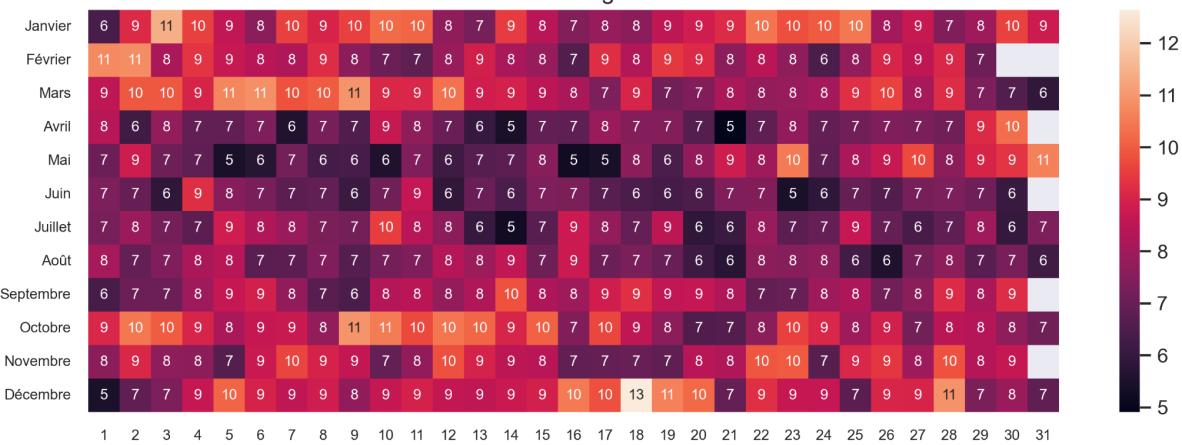


On constate une forte saisonnalité avec les fêtes de fin d'année.

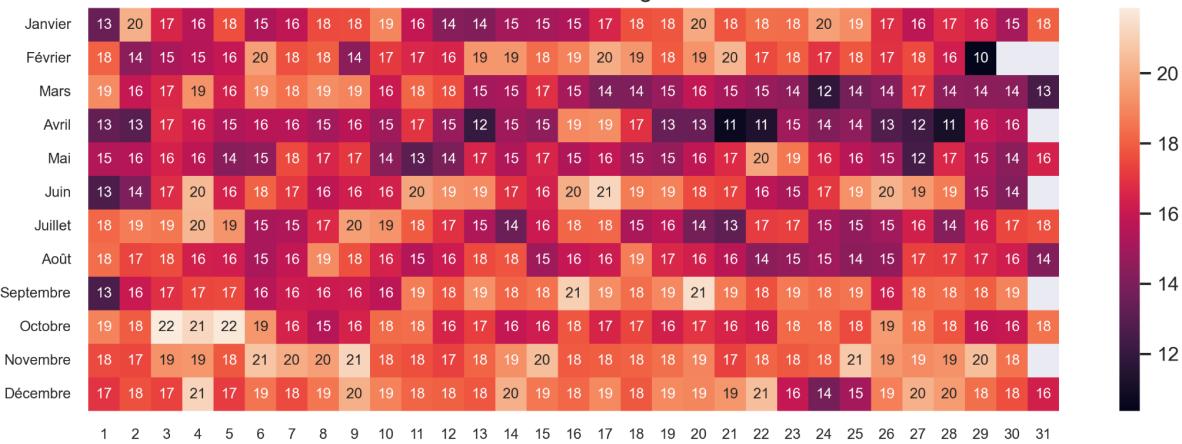
### Autre



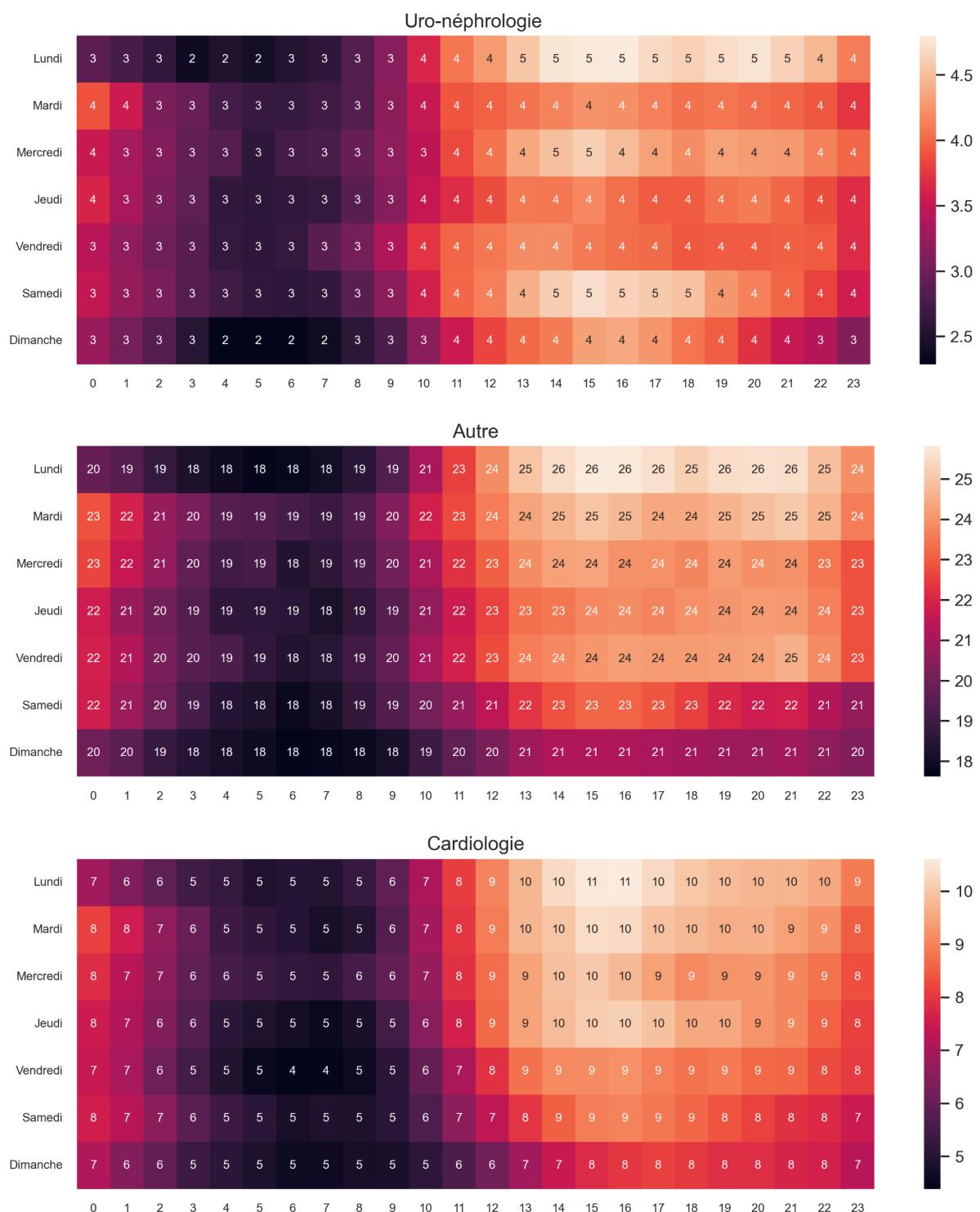
### Cardiologie



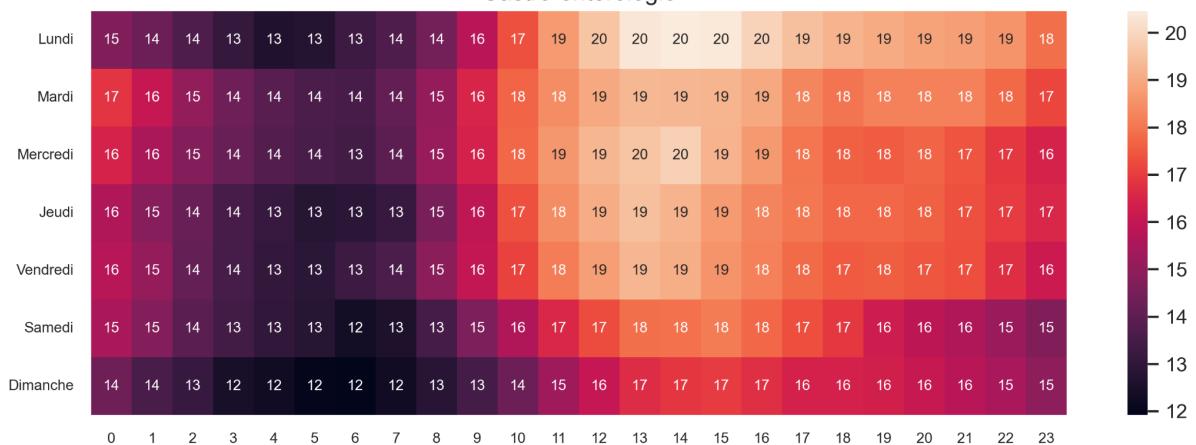
### Gastro-entérologie



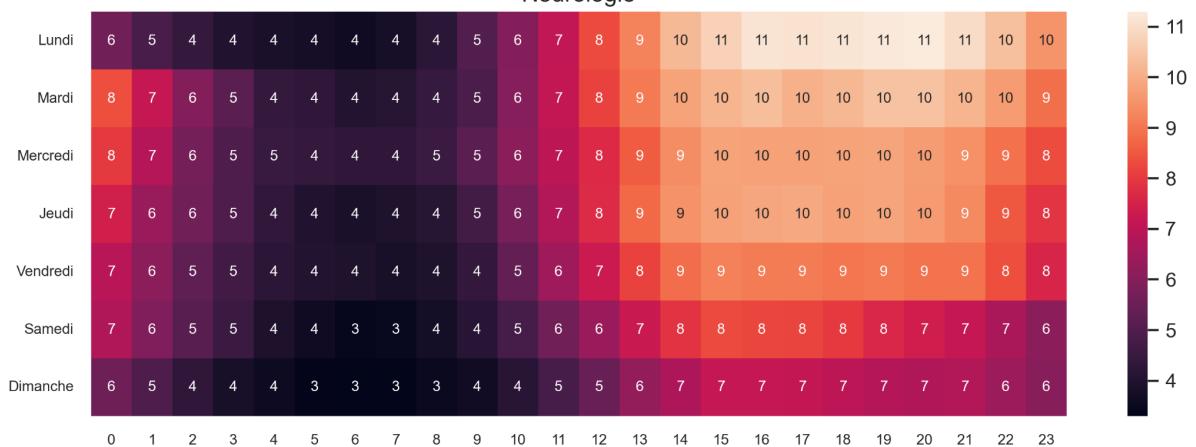
### Saisonnalité hebdomadaire

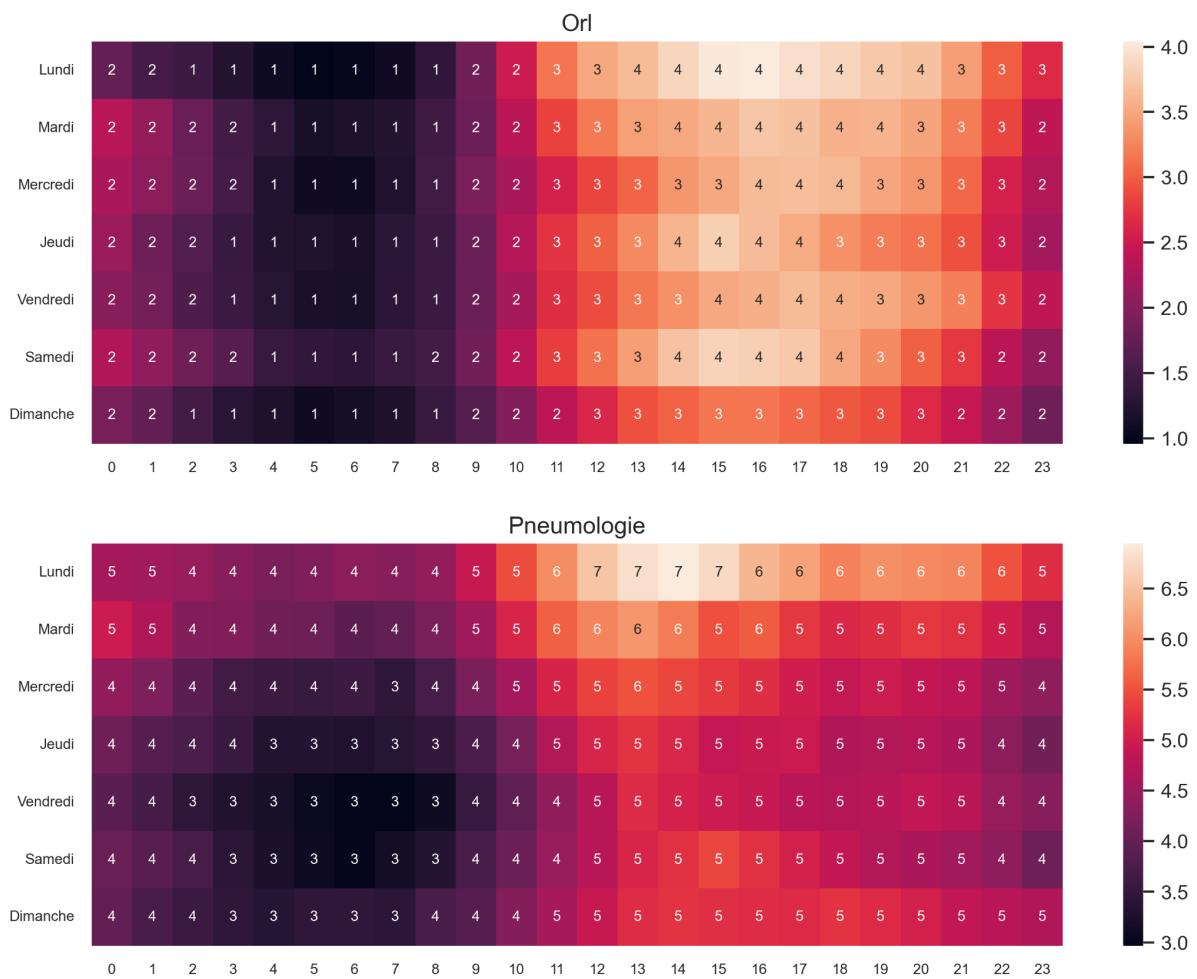


### Gastro-entérologie



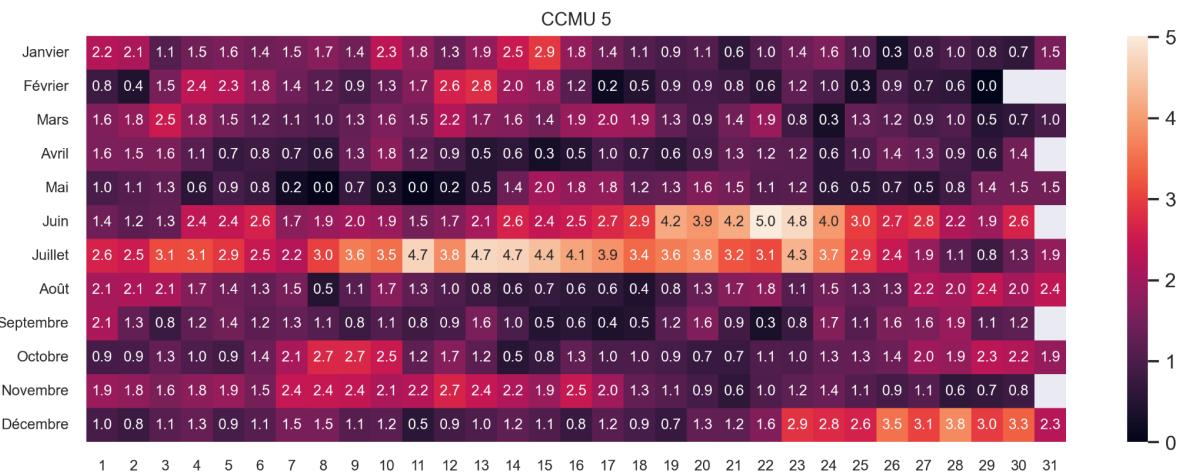
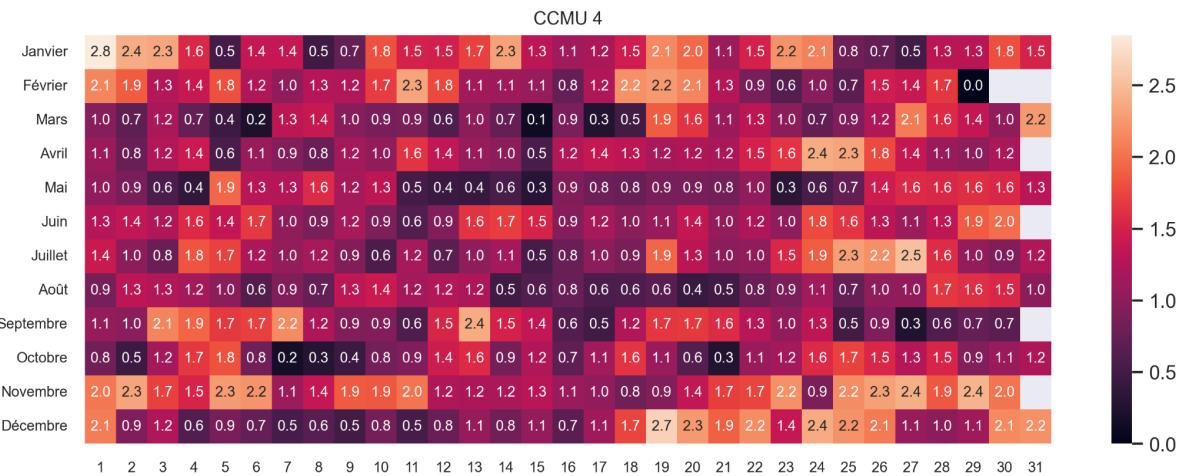
### Neurologie



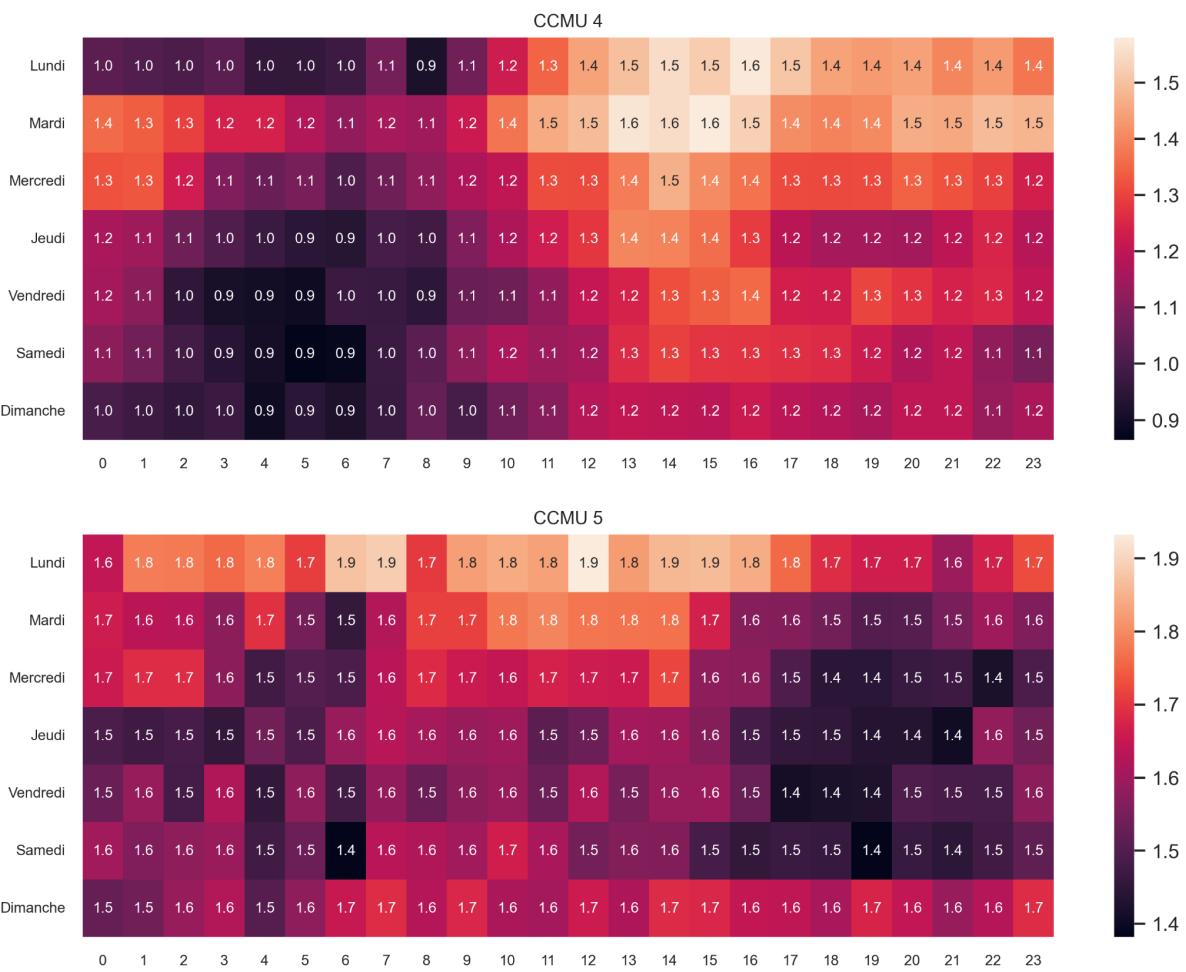


## 2.13. Nombre de CCMU 4 et 5 présents (patients graves)

Saisonnalité annuelle

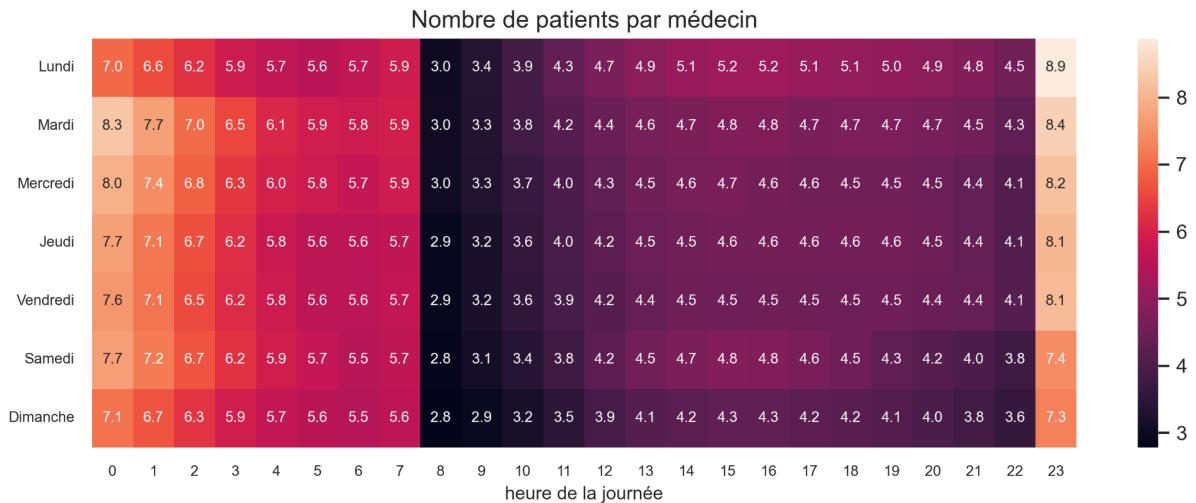


Saisonnalité hebdomadaire



## 2.14. Nombre de patients présents par médecin

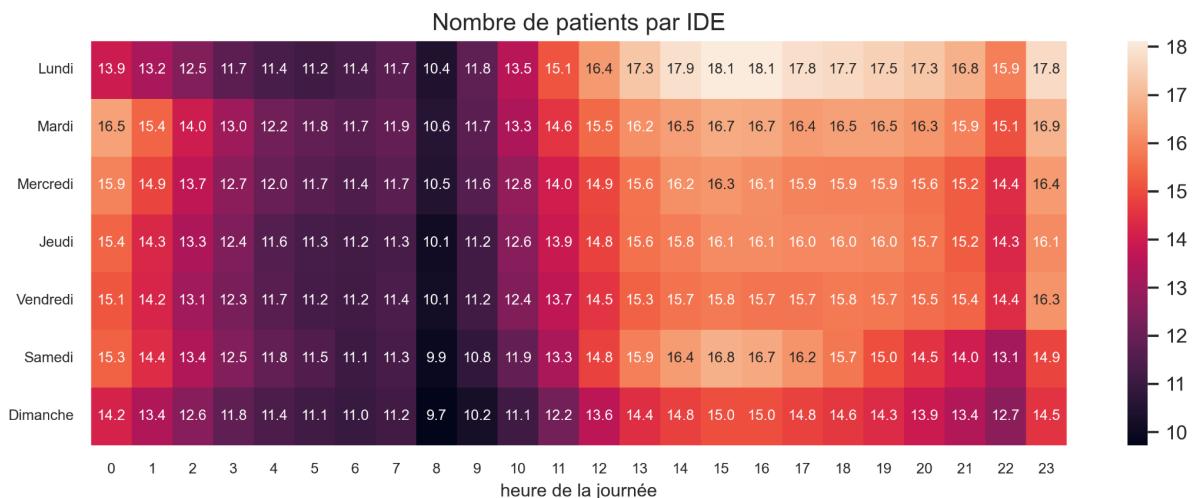
Nous avons obtenu la répartition du nombre de médecins au cours de la journée dans le document du parcours patient au SUA. La forte différence entre le jour et la nuit s'explique par le nombre de médecins qui double le jour par rapport à la nuit. En comptant le déchocage chirurgical et le bloc opératoire qui sont fermés la nuit, le nombre de médecins triple même durant la journée.



Les observations réalisées sur la tension hebdomadaire restent vraies ici.

## 2.15. Nombre de patients présents par infirmier

Nous utilisons les mêmes données ici. Nous ne comptons pas non plus les IDE en déchocage chirurgical ou au bloc opératoire, ni les aides-soignants.



On peut remarquer qu'il y a plus de patients par IDE que par médecin.

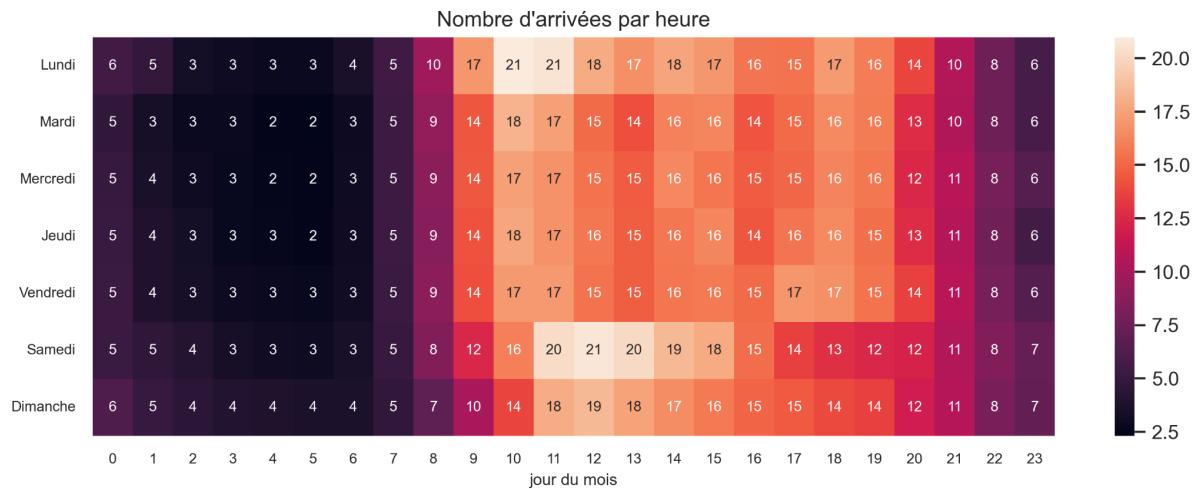
## 3. Apprentissage et prédiction

### 3.1. Méthode utilisée

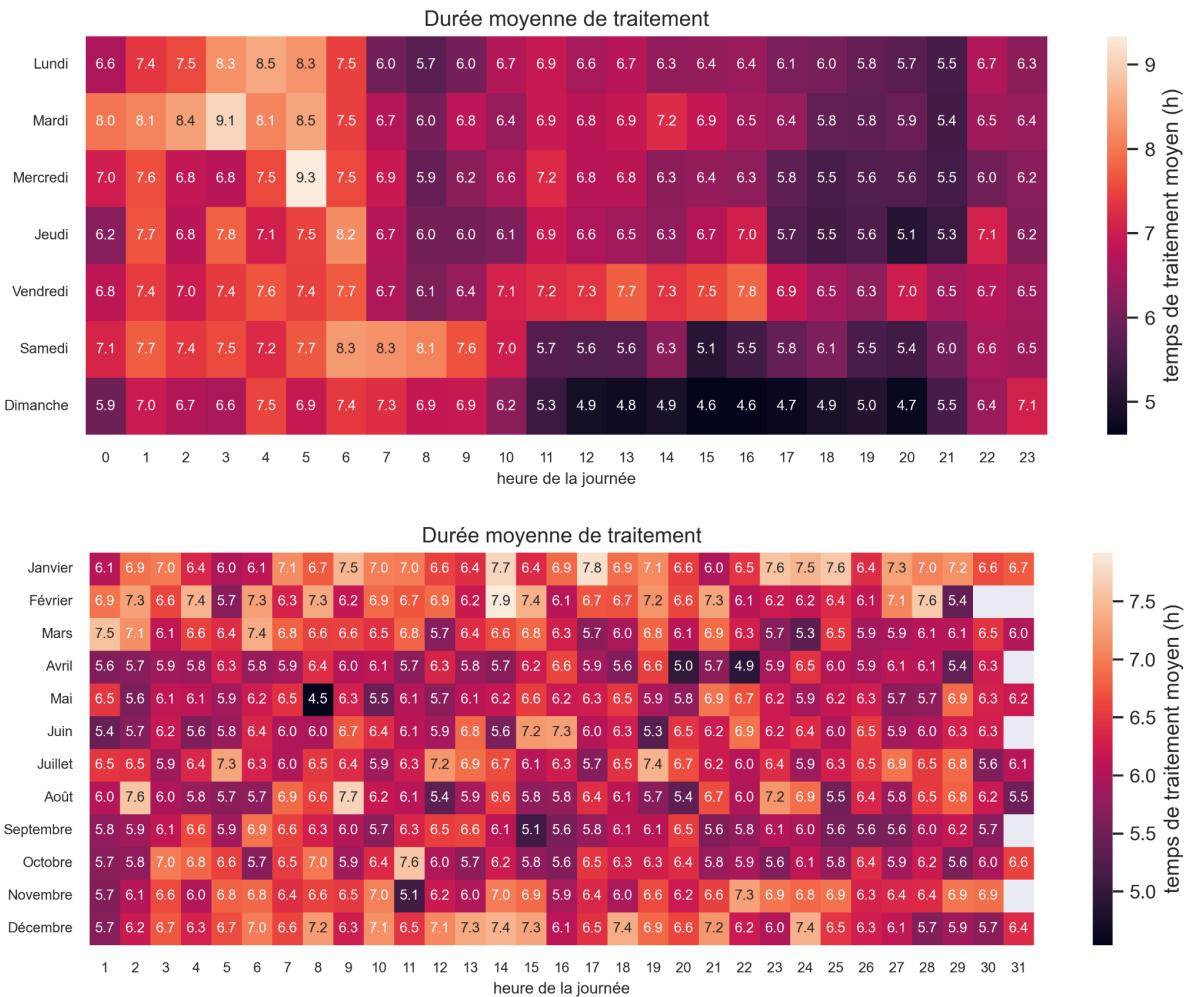
Nous avons essayé d'appliquer les méthodes de machine learning vues en cours sur la base de données (voir les notebooks *Machine learning* et *Machine learning OHE*).

Cependant, le meilleur résultat que nous avons réussi à obtenir est une accuracy de 50% pour une erreur moyenne sur le temps de séjour de presque 2h. Après avoir nettoyé et manipulé les données de plusieurs façons, nous n'arrivons pas à améliorer ce résultat. Les résultats ci-dessous sont donc des analyses de la base de données.

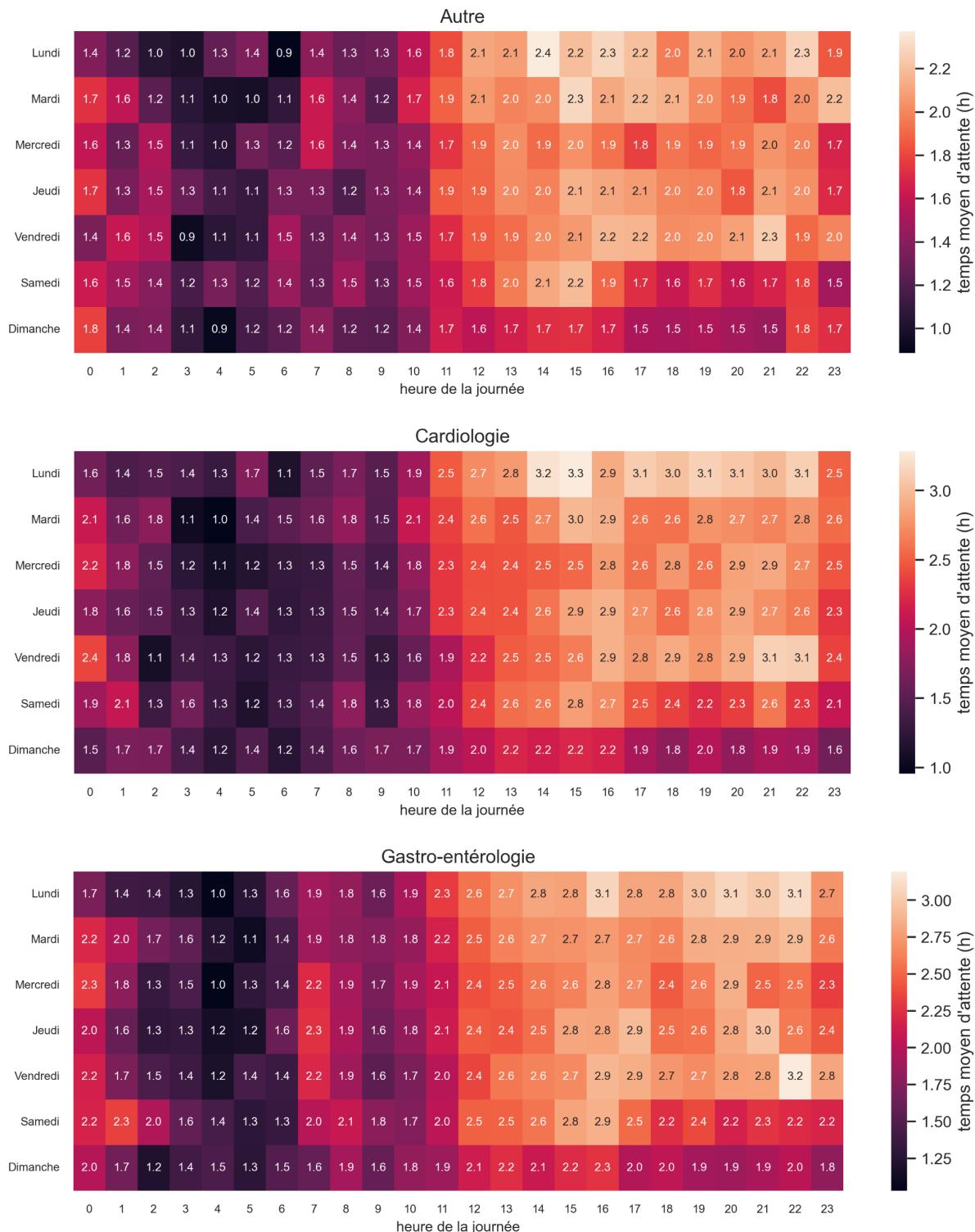
### 3.2. Prédiction de la loi d'arrivée des patients au SUA



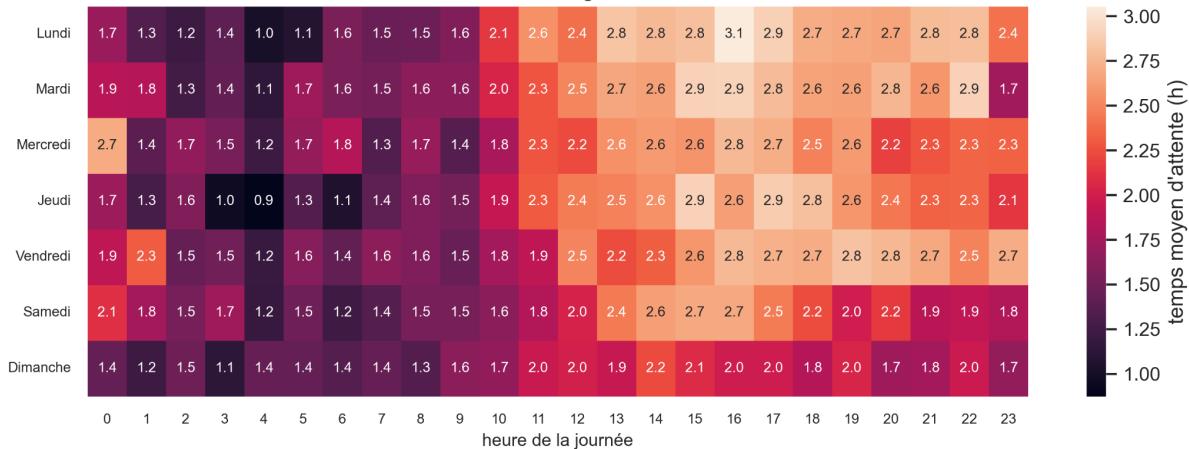
### 3.3. Prédiction de la durée du traitement



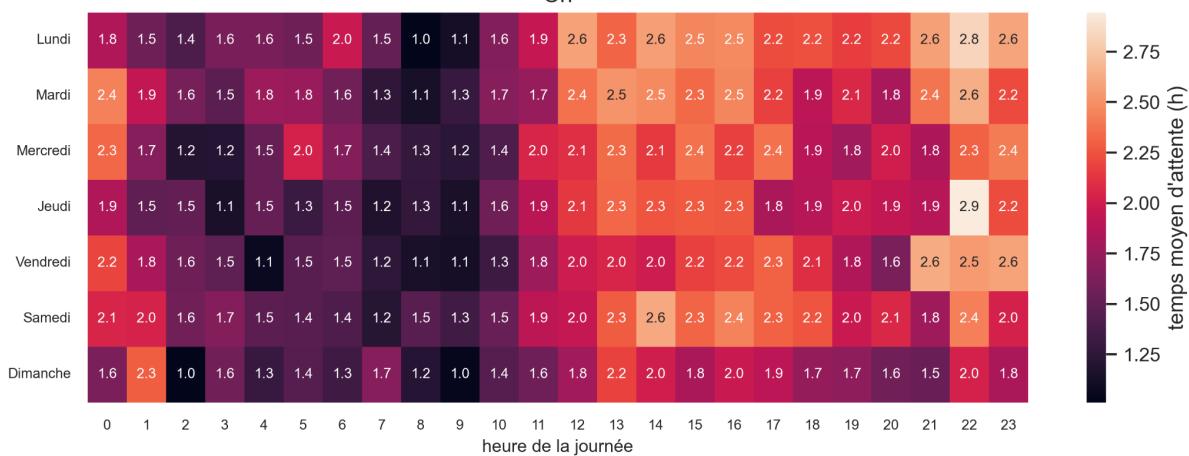
### 3.4. Prédiction du temps d'attente par pathologie en fonction du jour et de l'heure d'arrivée



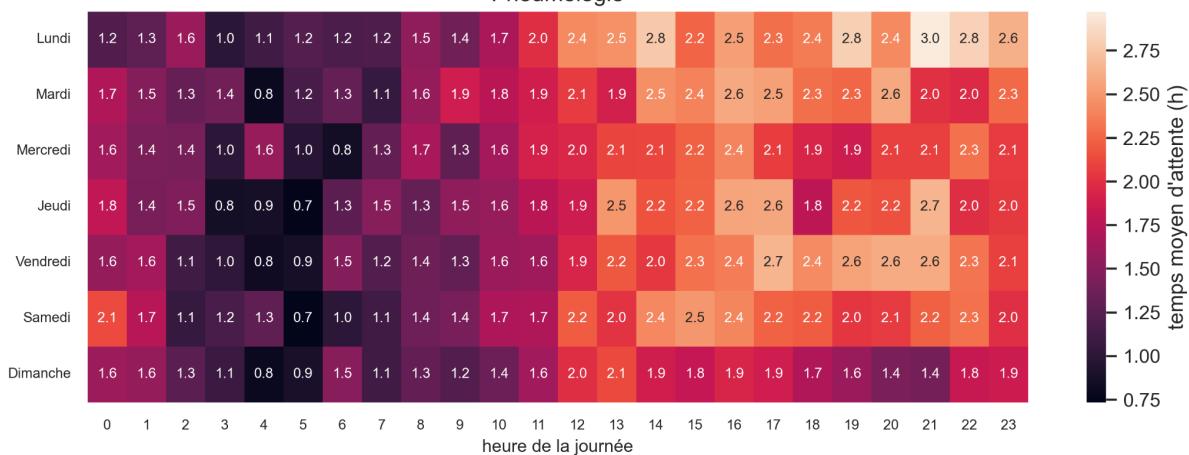
### Neurologie



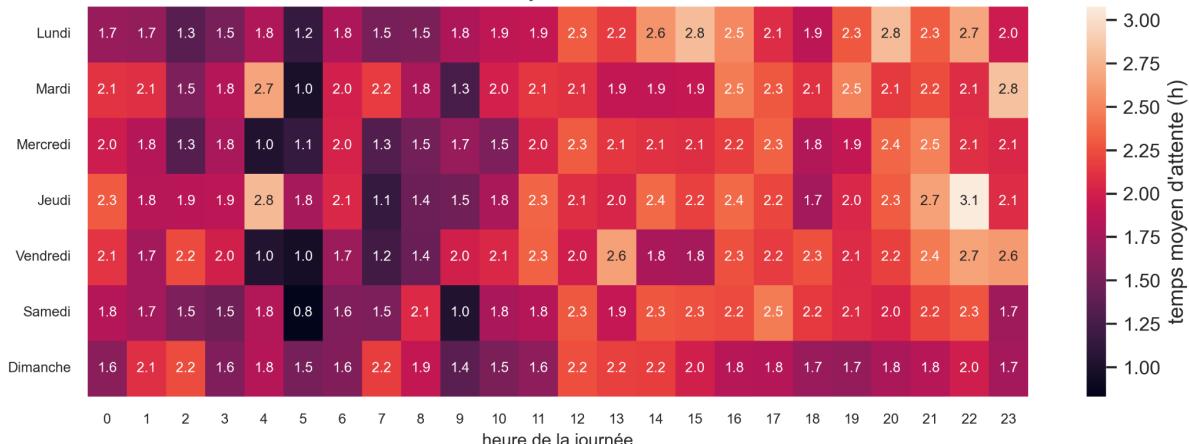
### Orl



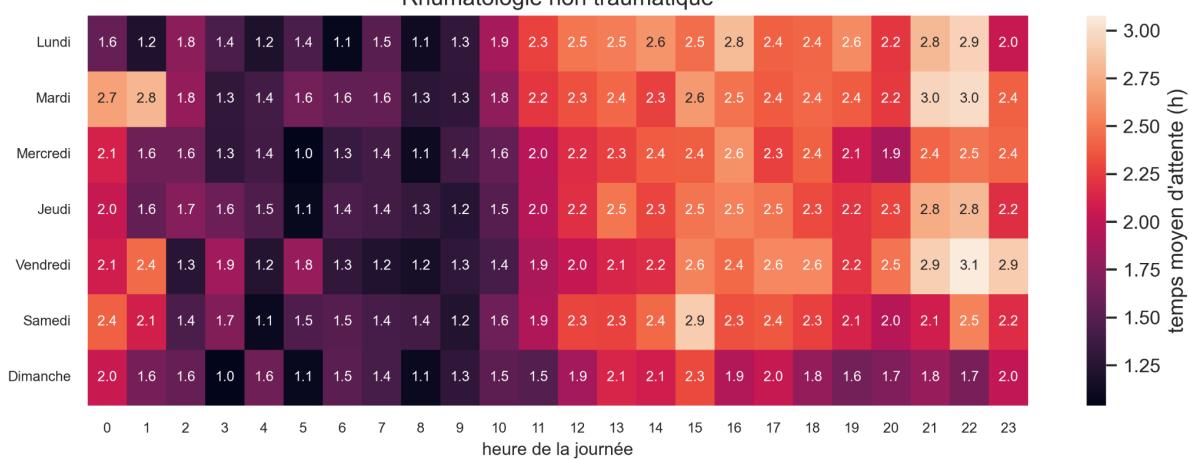
### Pneumologie



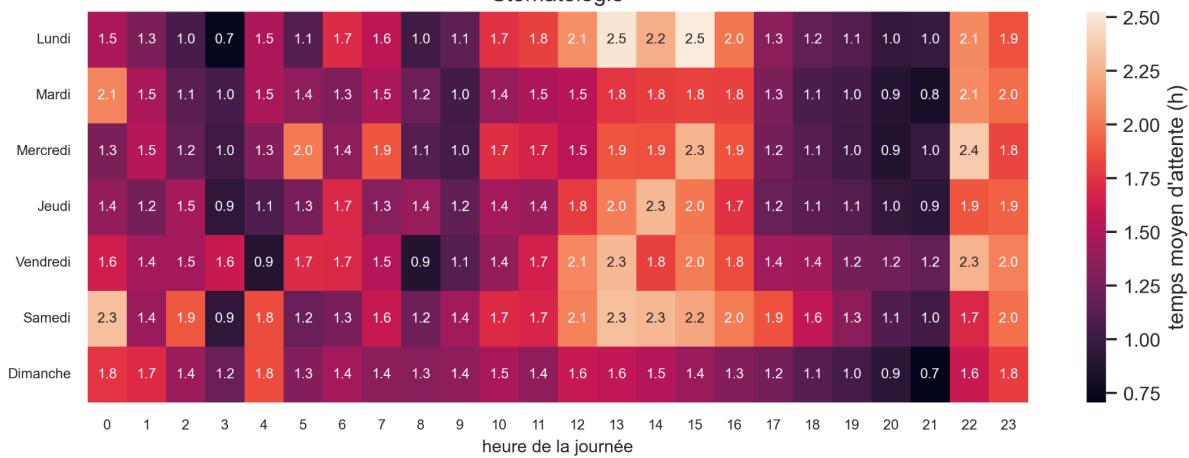
### Psychiatrie

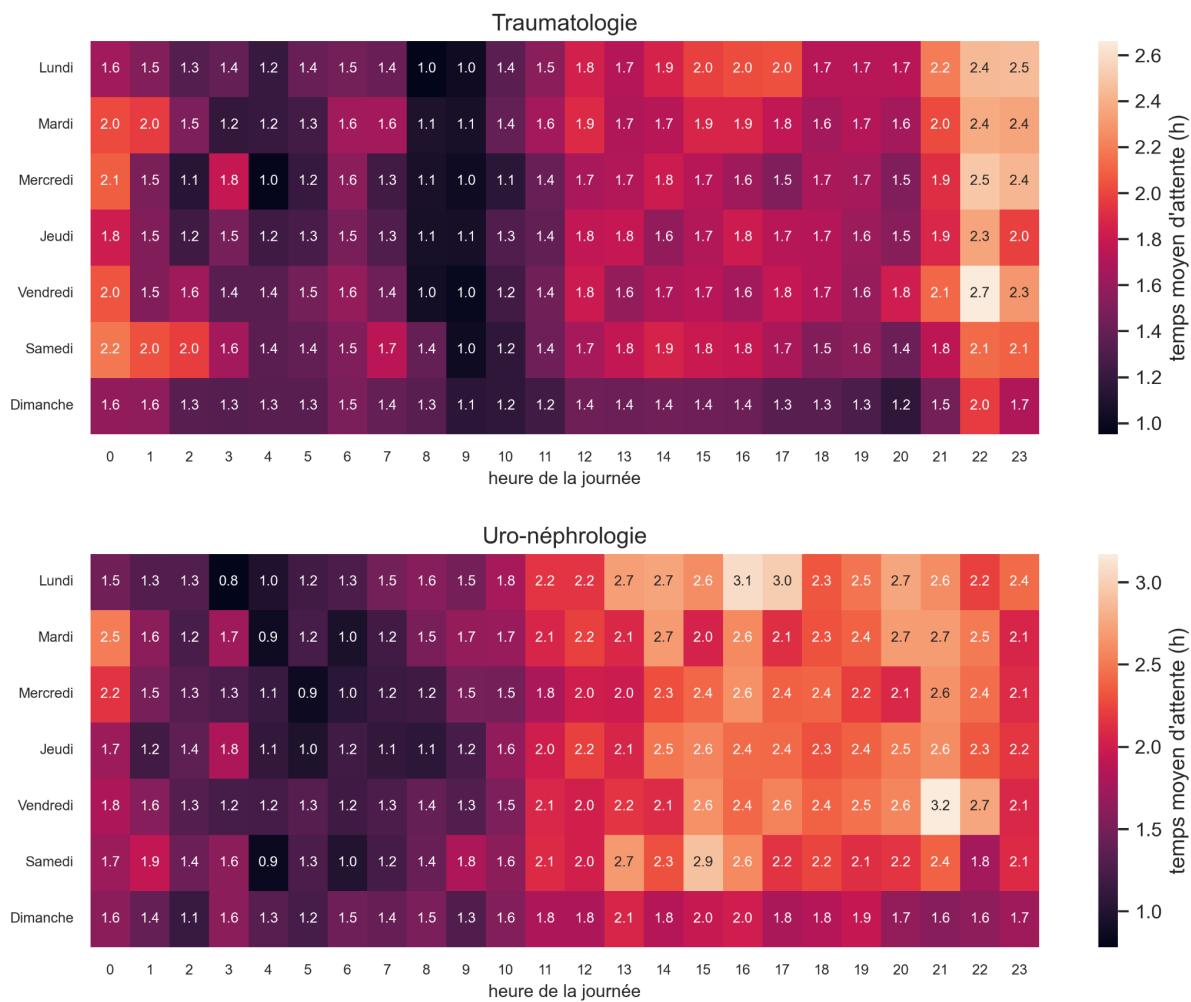


### Rhumumatologie non traumatique

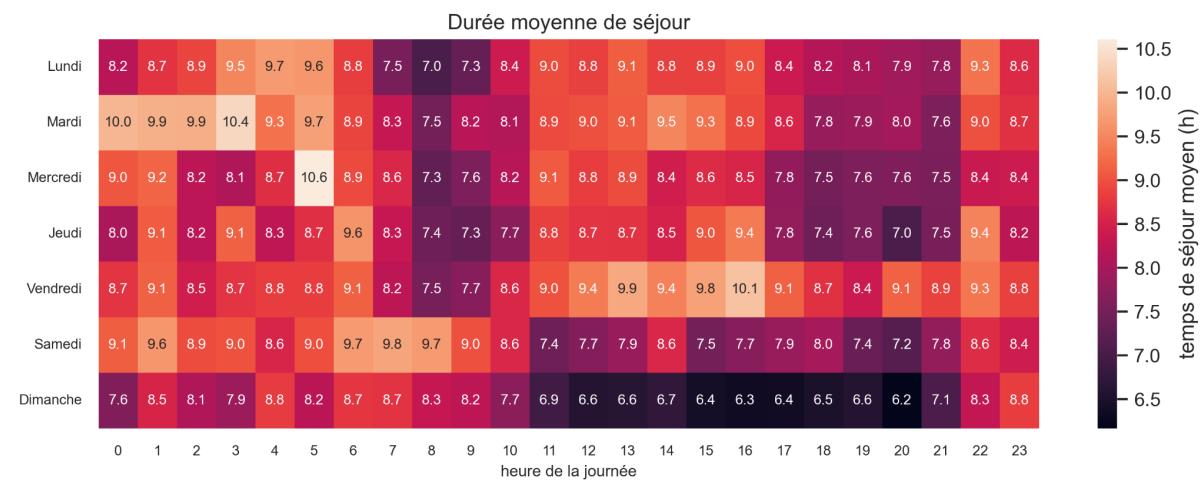


### Stomatologie





### 3.5. Prédition de la durée de séjour en fonction de l'heure d'arrivée



Les résultats présentés ici sont les mêmes qu'en partie 2.10.

## 4. Ordonnancement

Le code Python utilisé pour ce sujet du fil rouge est disponible sur ce [lien](#) dans un notebook en Google Colab et aussi dans l'annexe 1 en format .ipynb.

L'objectif de cette partie du travail est de produire des algorithmes d'intelligence artificielle métaheuristiques pour optimiser la durée totale d'exécution d'un ensemble d'opérations hospitalières. Cela prend en compte le temps d'exécution de chaque opération en utilisant ses compétences nécessaires.

Les règles sont :

- Une opération peut être aboutie seulement si l'opération précédente, par rapport à l'ordre donnée, a déjà commencé ou est finie;
- Une compétence ne peut pas être utilisée pour plus qu'une opération en même temps.

Table de compétences

	Opération 1	Opération 2	Opération 3	Opération 4	Opération 5
Patient 1	C1x2	C1 et C2	C1 et C3	C1 et C2x2	C4, C5x2 et C6
Patient 2	C2 et C3	C2 et C3	C2	Aucune opération	Aucune opération
Patient 3	C3x2	C3	Aucune opération	Aucune opération	Aucune opération
Patient 4	C4x2	C5 et C6	C6x2	C4x2	C1 et C2
Patient 5	C2x2	C5	C5 et C6	C4 et C5	C3
Patient 6	C1	C4	C6	Aucune opération	Aucune opération
Patient 7	C6x2	C1	C5 et C6	C3	Aucune opération
Patient 8	C3 et C5	C2 et C5	C3 et C6	C6	Aucune opération
Patient 9	C5	C4	C1	Aucune opération	Aucune opération
Patient 10	C4	C4 et C5	C1 et C2	C4	Aucune opération

En essence, l'entrée est l'ensemble des opérations et la sortie est un ensemble avec les mêmes éléments, mais ordonné pour avoir une durée plus courte.

Pour nous aider à modéliser les algorithmes, nous avons créé une classe "Opération", dont les objets sont les opérations qui seront ordonnées, avec quelques attributs et méthodes. On a aussi défini une importante fonction qui fait le calcul de durée d'un seul ordre, qu'on appelle « `calculerDureeTotale` » .

### 4.1. Les méthodes métaheuristiques

Notre problème est du type NP-Complet. En théorie de la complexité computationnelle, c'est un problème pour lequel l'exactitude de chaque solution peut être vérifiée rapidement (c'est-à-dire en temps polynomial) et un algorithme de recherche par force brute peut trouver une solution en essayant toutes les solutions possibles.

Toutefois, il n'existe aucun moyen connu de trouver une solution rapidement. Autrement dit, le temps nécessaire pour résoudre le problème à l'aide de n'importe quel algorithme actuellement connu augmente rapidement à mesure que la taille du problème

augmente. Dans notre cas, il augmente en proportion factoriel, une fois que la quantité de solutions possibles est une permutation simple.

Normalement ces types de problèmes sont traités par ce que nous appelons méthodes métaheuristiques. Ils ne donnent pas forcément la meilleure solution, mais une solution optimisée. En plus, on ne trouve pas toujours la même réponse. Le ratio résultat/temps pour ces méthodes est beaucoup mieux que celui pour essayer de trouver toutes les solutions possibles.

En résumé, ces méthodes commencent avec une solution aléatoire et à chaque cycle nous apportons de petits changements, générant de nouvelles solutions possibles. A la fin de chaque itération, les solutions moins performantes pour l'objectif, dans notre cas, ceux qui prennent plus de temps, sont écartées.

De cette façon, seules les solutions les plus efficaces restent et les changements qui étaient positifs sont maintenus. Nous passons au cycle suivant et les solutions qui restent servent à générer les solutions suivantes. De cette façon, à chaque itération on retient plus de modifications positives et la solution est optimisée.

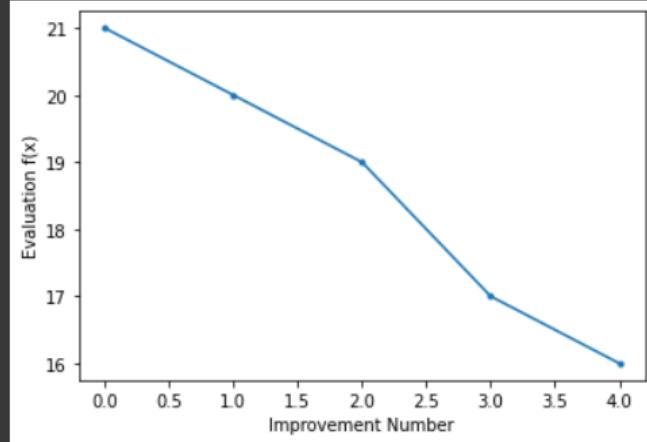
Il est important de souligner que toutes ces méthodes ont également une petite chance d'être aléatoires, de faire un changement imprévu, qui ne générera pas nécessairement une meilleure solution que la dernière. Il s'agit d'un mécanisme d'évitement des solutions locales.

## 4.2. Méthode Recuit Simulé

Cette méthode est inspirée d'un processus utilisé en métallurgie. On alterne dans cette dernière des cycles de refroidissement lent et de réchauffage (recuit) qui ont pour effet de minimiser l'énergie du matériau.

```
> 1 f(['o61', 'o101', 'o74', 'o15', 'o92']...['o104', 'o84', 'o53', 'o45', 'o44']) = 21
> 3 f(['o61', 'o101', 'o81', 'o15', 'o92']...['o55', 'o84', 'o51', 'o53', 'o104']) = 20
> 4 f(['o61', 'o63', 'o81', 'o15', 'o92']...['o55', 'o84', 'o51', 'o53', 'o104']) = 19
> 68 f(['o14', 'o53', 'o72', 'o81', 'o52']...['o41', 'o45', 'o43', 'o13', 'o104']) = 17
> 609 f(['o62', 'o32', 'o102', 'o12', 'o61']...['o11', 'o81', 'o101', 'o73', 'o103']) = 16
```

Solution: ['o62', 'o32', 'o102', 'o12', 'o61']...['o11', 'o81', 'o101', 'o73', 'o103']  
Test 1 duration: 16



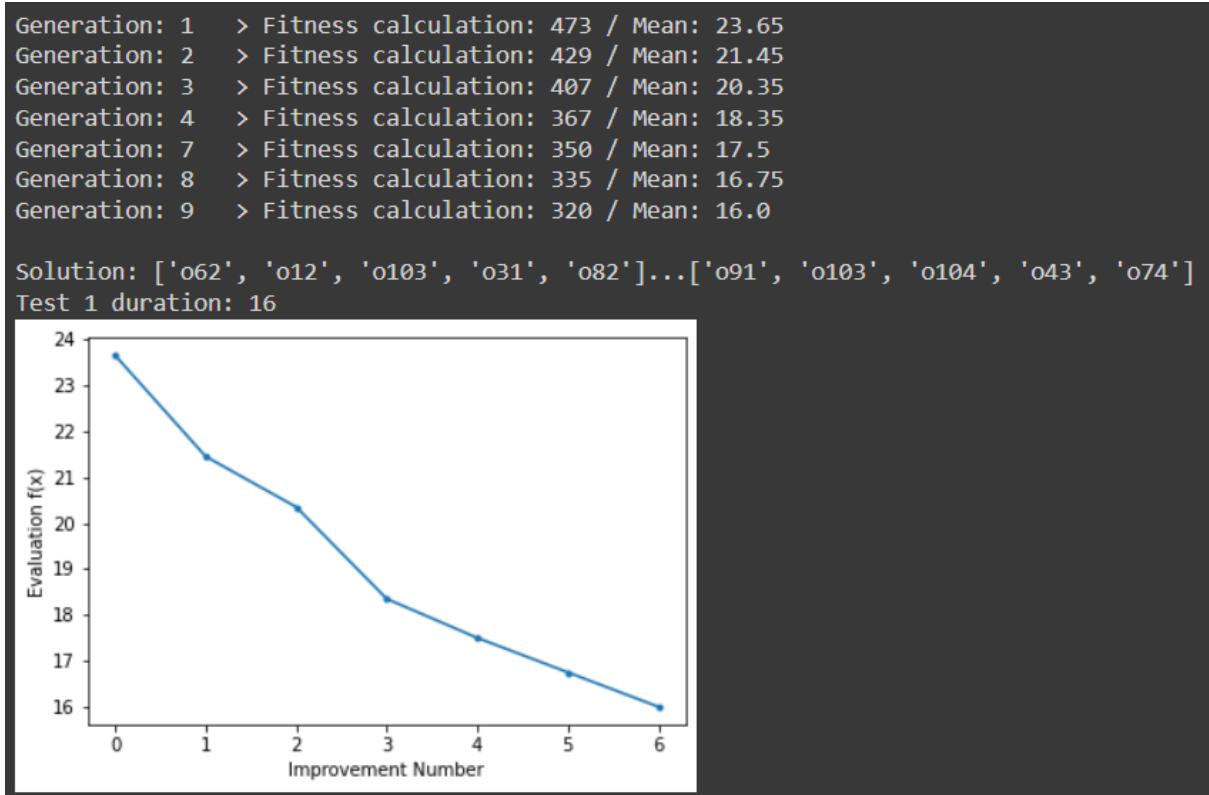
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Patient 1
Competence 1	2	1	3		3	2		4		5				1	1	3	Patient 1
Competence 2	2		2	1	1	3	1	4	4	5				2		3	Patient 2
Competence 3	2			1	1	3		1		3	4	5	2	1			Patient 3
Competence 4	2	2	2	4	4	4		4		1	1	5		1			Patient 4
Competence 5	2	3	2			1	4			2	2	5	5	1	3		Patient 5
Competence 6		3			3	1	1	4	3	2	5	3	3	3			Patient 6

D'autres essais pour avoir plus de résultats et aussi montrer qu'en tant que méthode métaheuristique, on n'aura pas toujours les mêmes résultats.

```
Test 2 duration: 16
Test 3 duration: 16
Test 4 duration: 17
Test 5 duration: 16
```

### 4.3. Méthode Algorithme Génétique

L'inspiration de cette méthode est simplement la théorie de l'évolution de Charles Darwin. Chaque nouvelle génération est le produit des meilleures individus (les solutions) de la génération antérieure. Ces parents font le mélange de leurs caractéristiques et avec un peu de hasard (mutation), est née la génération suivante.



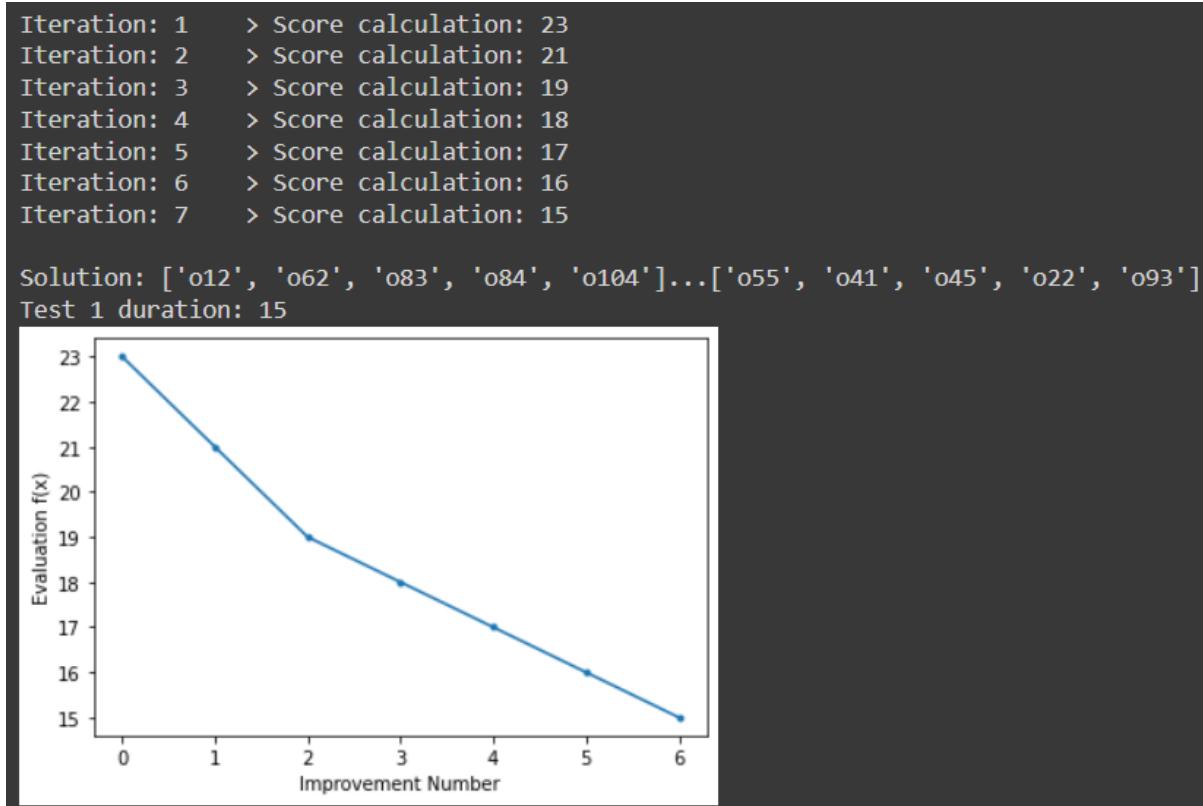
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Patient 1
Competence 1				1	2			3		2					3		Patient 1
Competence 2							2	3		2		1	1	2	3		Patient 2
Competence 3	1	1					2	3				5	1	2	4		Patient 3
Competence 4	2		1	1			1	2		5	2				4		Patient 4
Competence 5			2		2	2			5	5	3	1	2	1			Patient 5
Competence 6		3	2				3	5	4	3				3	3		Patient 6
	Patient 1	Patient 2	Patient 3	Patient 4	Patient 5	Patient 6	Patient 7	Patient 8	Patient 9	Patient 10							Patient 7

D'autres essais pour avoir plus de résultats et aussi montrer qu'en tant que méthode métahéuristique, on n'aura pas toujours les mêmes résultats.

```
Test 2 duration: 14
Test 3 duration: 14
Test 4 duration: 14
Test 5 duration: 17
```

#### 4.4. Méthode Tabou

Le méthode tabou est unique dans le sens où il utilise une liste de mouvements interdits, afin d'empêcher le retour à une solution déjà visitée.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Patient 1
Competence 1	2		3		1			3	1	1	2	4		5	3	Patient 1
Competence 2	2	3	1	1				3	2		1	4	4	5	2	Patient 2
Competence 3	3	1	3	1	1						1	4	2	5	2	Patient 3
Competence 4	2	4	4	4	1	5	2	2					4	1	1	Patient 4
Competence 5		1	1	3	2	5	5	2	2		2	3	4			Patient 5
Competence 6	3	4		3	3	5			1	1	2	3	3	3		Patient 6
																Patient 7
																Patient 8
																Patient 9
																Patient 10

D'autres essais pour avoir plus de résultats et aussi montrer qu'en tant que méthode météahéuristique, on n'aura pas toujours les mêmes résultats.

```
Test 2 duration: 17
Test 3 duration: 17
```

## 4.5 Conclusion

### Système Multi Agents

Au lieu de considérer chaque méthode vue comme un agent ordonnanceur, on peut les intégrer pour avoir un système qu'est appelé « multi agents ». On a alors mélangé les trois méthodes, en connectant la sortie d'une méthode à l'entrée de l'autre.

```
GA score: 16
GA + SA score: 16
GA + SA + Tabu score: 15
```

Il est possible de remarquer que l'utilisation d'une méthode en plus n'est pas forcément plus performante. On a eu le même résultat avec une ou deux méthodes, et une petite amélioration avec trois. Mais, quand même, ces résultats sont similaires ou même inférieurs à l'utilisation d'une seule méthode.

Ça peut être une caractéristique de notre problème mais ce type de solution peut bien marcher dans d'autres cas. Appliquer des algorithmes différents ensemble peut minimiser les points faibles de chacun.

### Analyse des Performances

Comme vu, on a eu des résultats similaires en plusieurs essais, alors on peut inférer qu'on est dans une région de réponses bien optimisées, ce qui doit être satisfaisant pour notre problématique.

Pour avoir une idée de pourquoi on fait cette affirmation et pour avoir un justificatif d'utilisation des méthodes métaheuristiques, on fait une analyse de coût computationnel (mesuré par le temps).

Premièrement, on doit considérer que notre code n'est pas le plus optimisé et que nos ressources computationnelles sont limitées. Cette comparaison vise seulement à donner une notion de la différence entre essayer de trouver une réponse optimisée et la meilleure réponse absolue.

Pour les 38 opérations, il y a  $38!$  ordres possibles .

```
5.230e+44 possible orders for 38 operations
```

Chaque calcul de durée d'un seul ordre prend environ 0.02 secondes.

```
Mean execution time for operations: 0.02 seconds
```

Afin de calculer la durée pour chaque ordre et vérifier la plus petite, on a un temps absurdement grand, qui évidemment rend impossible cette solution.

```
Estimated total time for the 5.230e+44 possible ordres: 3.262e+35 years  
23812172826772691558072320 times the age of the universe
```

Par contre, le temps pour les méthodes météahuristiques est bien meilleur.

```
Requit simulé : 30.24 seconds  
Algorithme génétique : 45.23 seconds  
Tabou : 145.18 seconds
```

## 5. Modélisation workflow du parcours patient

### 5.1. Introduction à la notion de workflow

Le système de Workflow peut être décrit comme la gestion informatique des processus à réaliser par un ensemble d'acteurs impliqués dans la réalisation de ces processus, en coordonnant leurs actions.

Le workflow vise à automatiser et à coordonner les tâches et à modéliser et simuler les processus. Aujourd'hui, le Workflow est de plus en plus utilisé pour modéliser et simuler des processus, à la fois dans les entreprises ainsi que dans l'environnement scientifique. Le workflow a un avantage qui est la visualisation claire des processus à travers des diagrammes, ce qui permet une compréhension facile de tous les acteurs.

### 5.2. Pourquoi le workflow ?

Dans un hôpital, en particulier dans un service d'urgence, il est nécessaire que tous les processus soient clairs pour tous les participants (médecins, infirmières, soins) et qu'il y ait un bon flux d'informations.

Au cours du traitement d'un patient, plusieurs documents tels que des formulaires d'inscription, des résultats d'examen, des prescriptions de médicaments sont émis. Il est donc nécessaire de disposer d'un système d'information efficace qui permet de transmettre facilement des informations et que cela se fasse rapidement et sans pertes.

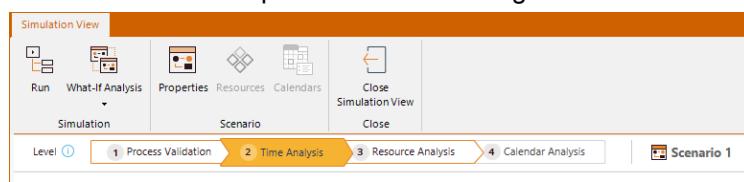
Il est donc important que l'ensemble du système logistique soit bien modélisé. Grâce au Workflow, il est possible de modéliser l'ensemble du processus et du flux d'informations dans le service d'urgence de façon à éviter les erreurs pendant le traitement d'un patient et optimiser le temps d'attente. Dans un hôpital, en particulier dans un service d'urgence, il est nécessaire que tous les processus soient clairs pour tous les participants (médecins, infirmières, soins) et qu'il y ait un bon flux d'informations.

### 5.3. Les modèles réalisés du parcours patient aux SUA

Grâce au programme Bizagi, nous avons pu réaliser des diagrammes représentant le parcours d'un patient dans le service d'urgence de l'hôpital. Nous avons utilisé comme base le document « **Le parcours patient au Services d'Urgences Adulte** » qui a été mis à disposition sur Moodle. Ce document contenait la description du parcours des patients dans le service des urgences, le temps moyen passé sur chaque activité et aussi le nombre de personnel pour chaque période de la journée.

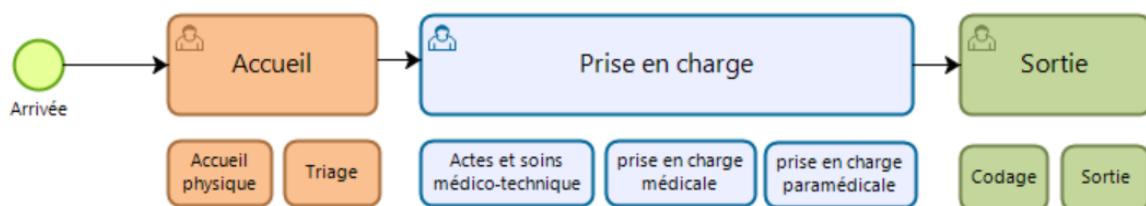
Avec toutes les informations fournies dans le document cité, il a été possible de modéliser le parcours du patient avec quelques diagrammes réalisés dans le programme Bizagi. Après avoir réalisé les diagrammes, il a été possible d'effectuer la validation du modèle, une analyse du temps, des ressources et des calendriers.

Capture d'écran de Bizagi



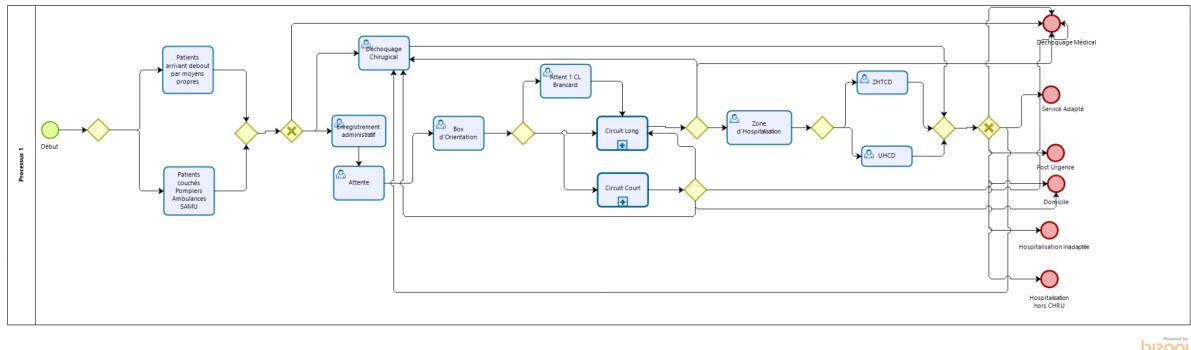
Ci-dessous, il est possible de visualiser un diagramme simplifié du parcours du patient dans lequel il passe par l'accueil - où l'enregistrement sera effectué et le début du dossier sera donné - , la prise en charge - où tous les services médicaux seront effectués - et la sortie, qui peut être un renvoi au domicile, une hospitalisation, un transfert vers un autre hôpital, entre autres.

Diagramme simplifié du parcours du patient au SUA



Sur la base du document précité, un diagramme complet du parcours du patient a été établi dans lequel sont abordées les différentes voies d'entrée du patient à l'hôpital (moyens propres, pompiers, ambulance), les différents secteurs au sein de l'hôpital (circuit court, circuit long, chirurgie) et les différentes sorties (hospitalisation, domicile, orientation vers un autre hôpital).

Diagramme complet du parcours du patient au SUA



Powered by  
BIZAGL

Après avoir réalisé le diagramme, des simulations ont été effectuées pour analyser le temps passé sur chaque activité, l'utilisation des ressources et le calendrier des activités. Pour cela, il a été considéré que le SUA reçoit en moyenne 310 patients par jour et les données fournies dans le document avec le temps moyen et le nombre de personnes pour chaque activité ont été utilisées.

Tableau récapitulatif des effectifs

Activité	Bureau d'enregistrement	Attente ZAO	Box d'orientation	Attente couloir CL	Circuit court	Circuit long	Déchocage chirurgical	Bloc opératoire	UHCD	ZHTCD
Temps moyen	3 min 35	3 min 58	3 min 13	27 min 45	2 h 11 min 12	3 h 47 min 40	2 h 58 min 58	2 h 14 min 14	14h	3 h
Ressources humaines	Agents administratifs	Brancardiers <sup>10</sup>	IDE Agent administratif	IDE Service civique Brancardiers	IDE Aides-soignants Externe Internes	IDE Aides-soignants Internes Externes Médecins	IDE Aides-soignants Médecin Interne	IDE Aides-soignants Médecins Internes	2 Médecins 1 Interne 2 Aides-soignants	1 Médecin 2 Internes 2 Aides-soignants
Calendrier	3 Matin 4 Après-midi 1 Nuit	1 Journée 2 Matin 2 Après-midi	IDE : 2 Matin 2 Après-midi 2 Nuit  Agent administratif : 1 Matin 1 Après-midi 1 Nuit	IDE : 1 dès 15h  Service civique: 2 de 12h à 20h  Brancardiers : 2 Journée 2 Matin 2 Après-midi	De 8h à 23h : 1 IDE 1 AS 1 Externe 2 Internes  Interne dentaire : 1 de 18h à 23	Journée : 5 IDE 4 AS 4 Internes 4 Externes 4 Médecins  Nuit : 5 IDE 4 AS 4 Internes 4 Externes 2 Médecins	Journée : 1 Médecin 1 Interne  IDE : 5 Matin 5 Après-midi 5 Nuit  Aides-soignants : 4 Matin 3 Après-midi 2 Nuit	Journée : 5 Médecins 3 Internes  IDE : 1 Journée 2 Matin 3 Après-midi 2 Nuit  Aides-soignants : 1 Journée 2 Matin 2 Après-midi 2 Nuit	Journée	Journée

Avec les valeurs de temps moyen de chaque processus, il a été possible de simuler le temps minimum, moyen et maximum du parcours d'un patient dans le SUA, qui est de **3h 2m et 40s**.

Résumé Time Analysis

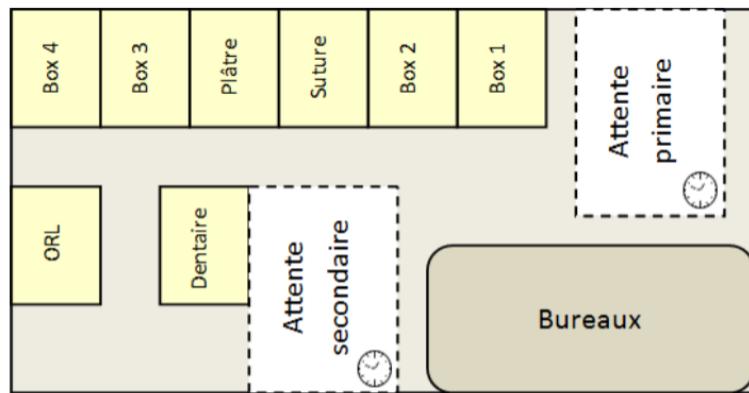
Name	Type	Instances completed	Instances started	Min, time (m)	Max, time (m)	Avg, time (m)	Total time (m)
Processus 1	Process	310	310	0	1d 24m 7s	3h 2m 40s	39d 7h 46m 41s

Début	Start event	310					
Patients arrivant debout par moyens propres	Task	283	283	0	0	0	0
Patients couchés Pompiers Ambulances SAMU	Task	27	27	0	0	0	0
Déchoquage Médical	End event	153					
Service Adapté	End event	37					
Post Urgence	End event	26					
Domicile	End event	32					
Hospitalisation inadaptée	End event	33					
Hospitalisation hors CHRU	End event	29					
Enregistrement administratif	Task	109	109	3m 35s	3m 35s	3m 35s	6h 30m 35s
Attente	Task	109	109	3m 58s	3m 58s	3m 58s	7h 12m 22s
Déchoquage Chirurgical	Task	181	181	2h 58m 58s	2h 58m 58s	2h 58m 58s	22d 11h 52m 58s
Box d'Orientation	Task	109	109	3m 13s	3m 13s	3m 13s	5h 50m 36s
Attent 1 CL Brancard	Task	5	5	27m 45s	27m 45s	27m 45s	2h 18m 45s
Zone d'Hospitalisation	Task	25	25	0	0	0	0
ZHTCD	Task	13	13	3h	3h	3h	1d 15h
UHCD	Task	12	12	14h	14h	14h	7d
Circuit Long	Task	50	50	3h 47m 40s	3h 47m 40s	3h 47m	7d 21h 43m 20s

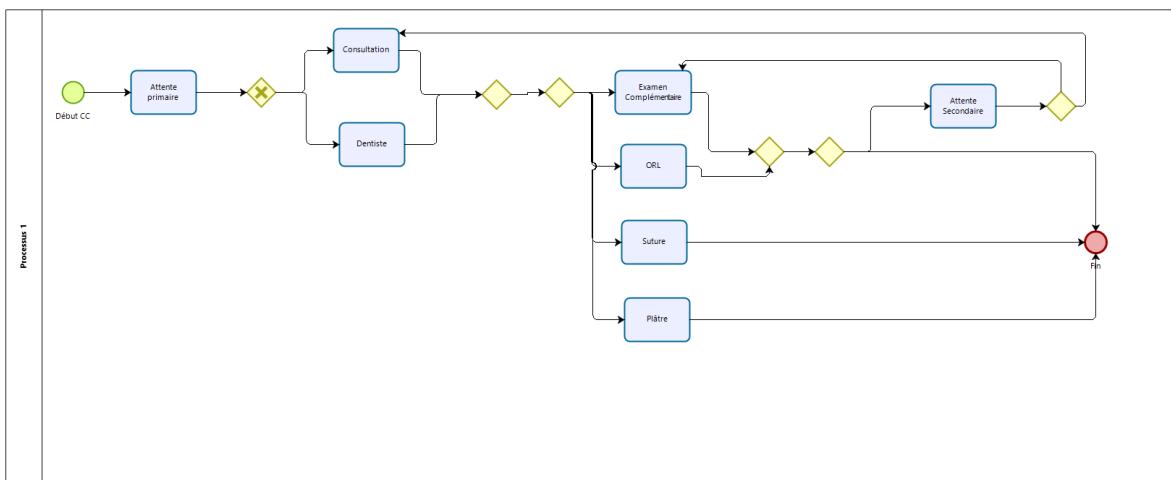
						40s	
Circuit Court	Task	83	83	2h 11m 11s	2h 11m 11s	2h 11m 11s	7d 13h 29m 36s

Dans le parcours du patient sur le SUA, il est possible de voir qu'il existe deux circuits, le circuit court et le circuit long. Ainsi, en suivant la description du document fourni, la modélisation des deux circuits a été réalisée.

Schématisation du Circuit Court

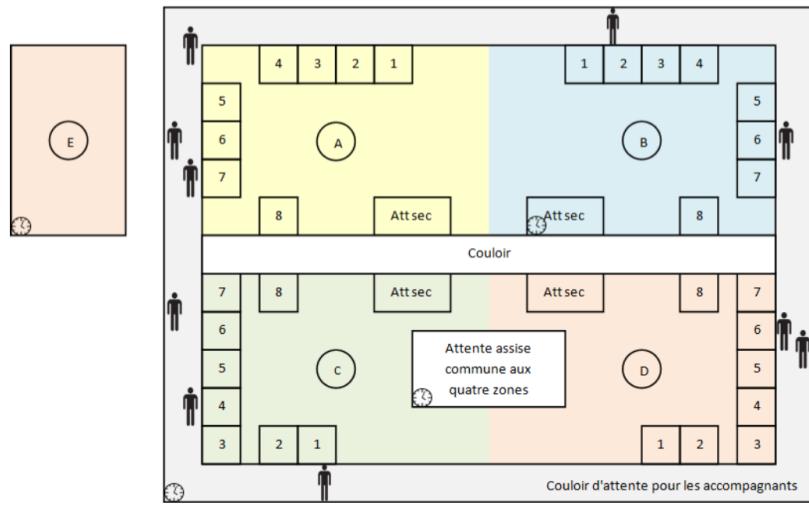


Modèle Circuit Court

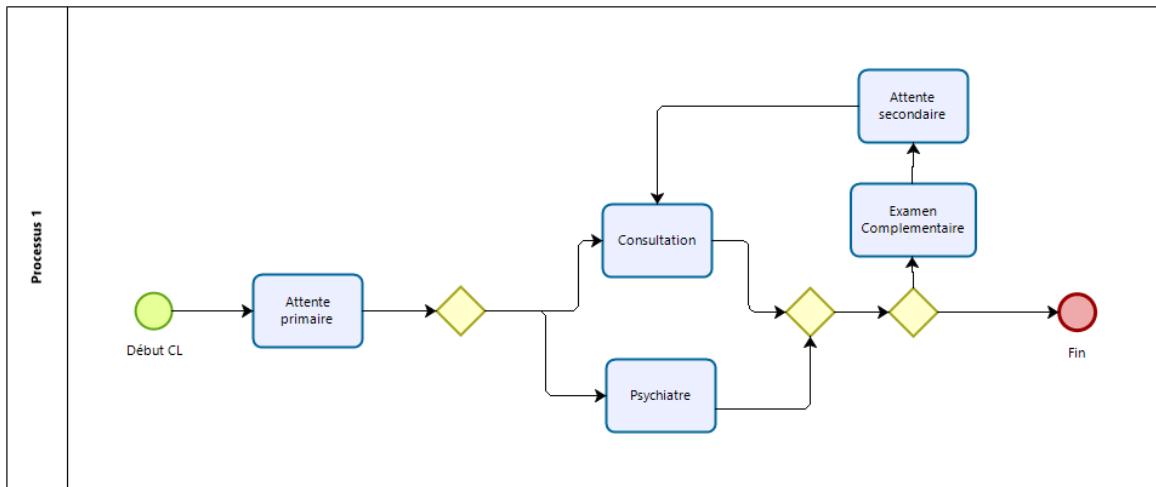


Powered by  
bizagi Modeler

Schématisation du Circuit Long



Modèle Circuit Long



Powered by  
**bizagi**  
Modeler

Le circuit court est ouvert la journée, entre 8h et 23h et est destiné aux personnes autonomes, non brancardées ayant un état lésionnel stable. Le circuit long est, quant à lui, destiné aux personnes ayant un état lésionnel jugé moins stable, aux personnes brancardées et aux personnes âgées de plus de 70 ans.

Après avoir modélisé les circuits court et long, il a été possible d'affecter les ressources utilisées dans chaque activité (nombre de médecins, d'infirmiers, d'agents administratifs, etc.) et dans chaque période (journée, matin, après-midi et soir).

Enfin, une simulation des ressources utilisées dans chaque calendrier a été réalisée.

#### Résumé Resource Analysis

Resource	Utilization
Agent administratif	65.8 %

Brancardier	2.15 %
IDE	80.96 %
Service civique	2.43 %
Aide-soignant	78.61 %
Interne	40.11 %
Externe	56.98 %
Médecin	49.43 %
Interne dentaire	10.20 %

## 5.4. Conclusion et perspectives d'amélioration

Lors de la réalisation des diagrammes, il a été nécessaire de définir les probabilités pour chaque activité. Pour cela, nous avons utilisé la base de données fournie dans le document « **Le parcours patient au Services d'Urgences Adulte** ».

Base de données des suivis patients (1/2)

Circuit	Patient	Arrêt passage SUA	Heure arrivée	Motif de consultation	Enregistrement administratif	Attente ZAO	Box orientation	Attente primaire	Consultation	Examens complémentaires	Attente secondaire	Transmission diagnostic	Heure sortie	Aval passage SUA	Durée passage CC/CL	
CC	P05_02_01	Propres moyens, Domicile	8:06:00	Abcès région pubienne	0:03:00	0:02:00	0:05:00	0:23:00	0:10:00	Avis 0:03:00	1:07:00	0:01:00	10:00:00	RAD	1:54:00	1:44:00
CC	P05_02_02	Propres moyens, Domicile	8:28:00	Suspicion eczéma yeux, venue pour réévaluation	0:02:00	0:03:00	0:02:00	0:21:00	0:06:00		4:09:00	0:00:00	13:15:00	RAD	4:47:00	4:40:00
CC	P05_02_03	Propres moyens, Domicile	9:16:00	Otalgies	0:04:00	0:04:00	0:02:00	0:06:00	0:13:00		0:14:00	0:01:00	10:01:00	RAD	0:45:00	0:35:00
CC	P05_02_04	Propres moyens, Domicile	9:37:00	Zona et grosseur au bras	0:03:00	0:03:00	0:05:00	0:14:00	0:17:00		0:16:00	0:01:00	10:38:00	RAD	1:01:00	0:50:00
CC	P05_02_05	Propres moyens, Travail, MT fermé	9:57:00	Lumbago	0:03:00	0:03:00	0:06:00	0:35:00	0:07:00		0:18:00	0:01:00	11:10:00	RAD	1:13:00	1:01:00
CC	P05_02_06	Propres moyens, Domicile	10:01:00	Abcès récidivant région pubienne	0:03:00	0:09:00	0:04:00	1:01:00	0:07:00		0:33:00	0:02:00	12:00:00	RAD	1:59:00	1:43:00
CC	P05_02_07	Propres moyens, Transfert CH	11:31:00	Cellulite dentaire, abcès à deux dents	0:04:00	0:06:00	0:02:00	0:33:00	0:17:00	0:02:00	0:52:00	0:03:00	13:35:00	RAD	2:04:00	1:52:00
CC	P05_02_10	Propres moyens, Domicile	13:32:00	Dysphagie depuis cinq jours	0:03:00	0:05:00	0:02:00	0:34:00	0:15:00		0:37:00	0:02:00	15:15:00	RAD	1:43:00	1:33:00
CC	P05_02_11	Propres moyens, Domicile	13:57:00	Suspicion corps étranger doigt depuis 2 mois	0:03:00	0:09:00	0:02:00	1:05:00	0:11:00	Radio 0:45:00	0:19:00	0:02:00	16:33:00	RAD	2:36:00	2:22:00
CC	P05_09_01	Propres moyens, Domicile, Suite consultation MT	8:58:00	Kyste sébacé scrotum	0:05:00	0:02:00	0:02:00	0:02:00	0:04:00	Avis 0:04:00 Avis 0:06:00 Bloc 3:19:00	0:54:00 0:04:00 0:35:00 2:14:00	0:00:00	17:29:00	RAD	8:31:00	5:12:00

Base de données des suivis patients (2/2)

Circuit	Patient	Amont passage SUA	Heure arrivée	Motif de consultation	Enregistrement administratif	Attente ZAO	Box orientation	Attente primaire	Consultation	Examen complémentaire	Attente secondaire	Transmission diagnostic	Heure sortie	Avant passage SUA	Durée CC/CL	Durée passage SUA
CC	P05_09_02	Propres moyens, Domicile, MT fermé	14:15:00	Myalgies, Douleur membre inférieur gauche, Arthrose	0:03:00	0:05:00	0:02:00	1:58:00	0:10:00	Radio 0:06:00 Avis 0:02:00	0:14:00 0:04:00 0:36:00 0:10:00	0:05:00	18:20:00	RAD	4:05:00	3:25:00
CL	P05_17_01	Propres moyens, Domicile, Après visite MT	18:06:00	Douleurs abdominales non épigastriques	0:04:00	0:04:00	0:02:00	0:38:00	0:11:00		4:43:00	0:03:00	23:48:00	RAD	5:42:00	5:32:00
CL	P05_17_07	Propres moyens, Domicile	23:45:00	Douleurs abdominales	0:04:00	0:02:00	0:03:00	1:07:00	0:10:00		0:44:00	0:00:00	1:55:00	RAD	2:10:00	2:01:00
CC	P05_23_01	Propres moyens, Domicile, Dentiste fermé	18:36:00	Rage de dent, douleur	0:03:00	0:06:00	0:02:00	0:01:00	0:21:00		0:00:00	0:00:00	19:09:00	RAD	0:33:00	0:22:00
CL	P05_23_02	Propres moyens, Domicile après travail	19:13:00	Douleurs abdominales, envoi de SOS Médecins	0:04:00	0:05:00	0:03:00	1:16:00	0:18:00	Avis 0:02:00	1:07:00	0:02:00	21:56:00	RAD	2:43:00	2:28:00
CL	P05_23_03	Propres moyens, Domicile	23:09:00	Douleurs abdominales, vomissements	0:02:00	0:03:00	0:05:00	1:45:00	0:15:00	Echo 0:45:00	5:00:00	0:02:00	8:40:00	Bloc	9:31:00	7:36:00
CC	P05_24_01	Propres moyens, Domicile	19:20:00	Démangeaisons brûlures suite piqûre méduse	0:05:00	0:03:00	0:03:00	2:06:00	0:11:00		0:10:00	0:01:00	21:58:00	RAD	2:38:00	2:27:00
CC	P05_24_02	Propres moyens, Domicile	18:05:00	Lombalgies	0:03:00	0:15:00	0:02:00	1:20:00	0:11:00		0:09:00	0:02:00	20:07:00	RAD	2:02:00	1:42:00
CC	P05_24_03	Propres moyens, Domicile	18:25:00	Douleurs abdominales, métorrhagies sous DUI	0:03:00	0:09:00	0:03:00	2:30:00	0:07:00		0:28:00	0:05:00	22:00:00	CH	3:35:00	3:20:00
CL	P05_24_04	Propres moyens, Domicile	22:19:00	Rectorragies sur hémorroïdes	0:04:00	0:00:00	0:03:00	2:16:00	0:22:00		0:44:00	0:02:00	1:50:00	RAD	3:31:00	3:24:00
CL	P05_24_07	Ambulance, Domicile	04:05:00	AEG, fatigue	0:05:00	0:00:00	0:05:00	0:15:00	0:24:00	Avis 0:20:00	0:20:00	0:05:00	6:00:00	RAD	1:55:00	1:45:00

La durée moyenne du trajet des patients dans la base de données SUA est de **2h 57m**. Le temps de trajet de la simulation du Workflow était de **3h 2m 40s**, nous pouvons donc conclure que la valeur de la simulation est conforme à la réalité des données.

A partir de la base de données fournie et des simulations effectuées dans Workflow, il est possible de proposer quelques améliorations dans la gestion du Service des Urgences Adultes.

- Selon la base de données, 43% des patients des urgences arrivent le matin, 19% l'après-midi et 38% la nuit. Par conséquent, une amélioration consisterait à modifier l'affectation du personnel pendant la journée afin que davantage de personnes soient disponibles le matin et la nuit.
- En outre, selon la base de données, 71,5% des patients nécessitant une consultation sont affectés au circuit court et 28,5% au circuit long, car la plupart des patients sont non brancardées et ne présentent pas de problème de santé grave. Il serait donc intéressant que le circuit court dispose de plus de ressources humaines (médecins, infirmières, etc.) et de plus de ressources physiques (salles de consultation).

## 6. IoT et la santé

Dans le cadre de cet électif, les concepts de l'IoT (Internet of Things) ont été étudiés. À partir de cette technologie, il est possible d'intégrer des capteurs, des lecteurs et des bases de données, tous reliés par des réseaux. Grâce aux diverses possibilités qu'offre l'IoT, il est possible de l'appliquer dans différents secteurs, notamment celui de la santé et de la gestion du service d'urgence d'un hôpital.

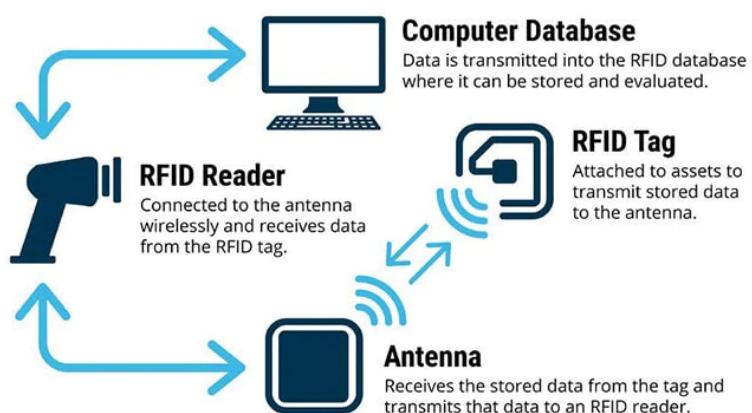
## 6.1. IoT et disponibilités des lits d'aval

Une application de l'IoT pour le secteur de la santé est la gestion des lits d'hôpital. Un moyen possible de réaliser cette gestion est avec le système RFId (Radio Frequency Identification). Le RFId consiste en une puce ou une étiquette qui contient des informations uniques sur la personne ou l'objet auquel elle est attachée. Les informations sont lues par un lecteur RFId, puis traitées par un logiciel intelligent.

Chaque lit d'hôpital peut être équipé d'une étiquette RFId, qui aura un code unique. Des lecteurs fixes peuvent être installés dans des points spécifiques de l'hôpital et des lecteurs mobiles peuvent être utilisés par les techniciens en charge.

Grâce à ce système, les lecteurs vont capturer le passage de chaque lit et envoyer les données à l'application. Grâce à cela, il sera possible de vérifier où a eu lieu le dernier passage du lit et également de vérifier le chemin parcouru par chaque lit dans l'hôpital.

L'avantage de ce système RFId est qu'il sera plus facile pour les techniciens de trouver les lits, ce qui réduit le temps de prise en charge des patients et, en cas d'urgence, il sera plus rapide de trouver un lit disponible. Un autre avantage est de vérifier quels sont les lits qui doivent être entretenus. De plus, dans le cas d'un patient atteint d'une infection, il est possible de vérifier l'ensemble du chemin emprunté par le lit infecté.



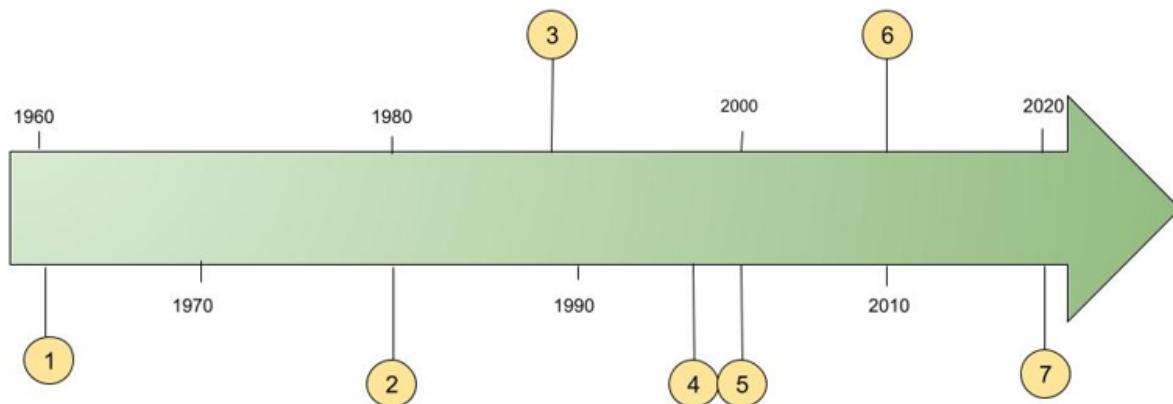
## 6.2. IoT & évolution de l'état de santé des patients

L'étiquette RFId peut stocker des informations sur l'état du patient. Il est ainsi possible d'enregistrer l'itinéraire suivi, les examens effectués, les visites médicales et d'autres informations concernant le séjour du patient à l'hôpital. En outre, de la même manière que la localisation des lits, il est possible de localiser chaque patient au moyen de lecteurs RFId fixes et mobiles.

## 7. Résumé des conférences des intervenants extérieures

### 7.1. Régis Beuscart

La E-santé est un l'ensemble des domaines de la santé faisant intervenir des technologies de l'information et de la communication (tic). Pr Beuscart à commencé son intervention en faisant un point historique sur l'évolution de la E-santé depuis les années 60.



1. 1960 première téléconsultation pour contacter des patients isolés
2. projets militaires et spatiaux font avancer le domaine médical, l'IRM en 1960 ou plus récemment en utilisant des simulations par ordinateur. Les ingénieurs ont remarqué que les écoulements de fluide à l'intérieur des pompes des moteurs propulsant les navettes étaient très similaires à ceux présents dans les pompes cardiaques, ouvrant la voie en 1996 à la commercialisation de la nouvelle pompe.
3. 1989 début de la téléchirurgie
4. 1996 internet à l'université
5. dès le début 2000 problème de déserts médicaux, l'exemple du nombre de radiologue disponible ou encore à la distance à parcourir pour certains malades afin de réaliser une dialyse.
6. 2010 Augmentation du nombre d'admission longue durée problématique lié à un vieillissement de la population
7. 2020 Période COVID qui voit une importante augmentation des téléconsultations

Théoriquement, ces outils technologiques servent de support et permettent la mise en place d'un travail coopératif assisté par ordinateur (CSCW).

Il y a dès lors différents types de coopération possible entre l'homme et l'ordinateur :

1. Une coopération additive, ici la technologie vient palier les capacités limitées de l'homme en permettant de surpasser celle-ci
2. Une coopération intégrante qui va permettre à l'homme de se spécialiser et d'être plus performant sur un domaine en particulier. Cette forme de coopération peut aussi aider à avoir un meilleur contrôle de certains systèmes.
3. Une coopération de débat qui peut être utile lors de réunion pluridisciplinaire où chaque intervenant propose des idées selon son point de vue et sa spécialité.

Pr Beuscart nous a ensuite introduit différents domaines de la E-santé. Les nombreuses formes de consultation à distance à commencer par les téléconsultations ayant connues une forte augmentation avec la période covid. Cette pratique permet un sérieux gain de temps et aussi pour le médecin de garder un contact peut être plus régulier avec un patient nécessitant un point de vue, mais aussi la télé expertise notamment dans le domaine de la radio (téléradiologie).

La téléradiologie est l'exercice à distance de la médecine radiologique. Elle est une solution utilisée pour pallier le manque de praticiens radiologues dans certains territoires. On peut aussi avoir de la télésurveillance grâce à différents types de capteurs sur des patients atteints de maladies chroniques par exemple. Les capteurs peuvent tout à fait être des caméras ou encore des micros mais ils peuvent être jugés trop intrusifs dans ce cas il existe aussi des capteurs domotique qui surveillent la consommation d'eau, d'électricité ou encore l'ouverture d'une porte.

La technologie peut aussi fournir des aides techniques très utiles face à des problèmes d'audition, moteurs ou encore la DMLA une maladie chronique touchant le centre de la rétine touchant plus d'une personne sur quatre de plus de 75 ans.

## 7.2. Jean-Baptiste Beuscart

Jean-Baptiste Beuscart est spécialisé dans les parcours santé, son intervention nous a permis de comprendre et de mieux appréhender les différentes problématiques liées aux établissements hospitaliers.

On a ici fait la distinction entre deux termes anglais que sont les cures et les cares. Les cures sont l'ensemble des méthodes de soin sur un aspect plus technique scientifique.

Là où le care correspond plus au "prendre soin" avec une forte importance de l'aspect relationnel humain. Le docteur nous a expliqué que la plupart des équipes d'ingénieurs travaillait pour mettre au point ou améliorer des techniques de cures (par exemple la technologie du pacemaker). Ce qui est très intéressant cependant dans l'état actuel des choses il serait surtout plus important de faire des recherches pour améliorer les méthodes de cares, de soin du patient. C'est dans ce cadre que les projets d'ordonnancement des tâches peuvent être clés. En effet, une meilleure organisation du personnel soignant pourrait permettre à celui-ci de passer plus de temps avec certains patients en ayant besoin pour favoriser le côté relationnel qui est clé dans les cares. En effet

nous avons aussi appris que le manque de personnel soignant forçait par exemple certaines infirmières à devoir travailler à la chaîne et de plus en plus à considérer leurs patients comme des "numéros" que comme des êtres humains.

On a aussi lors de cette intervention pu apprendre la différence entre patient, malade, usager qui sont différents termes utilisés pour désigner une même personne. Être malade est avant tout un ressenti personnel et intime, il devient patient lorsqu'il demande l'aide du corps médical pour sa guérison et enfin le terme usager relève quant à lui plus du droit et de l'administratif.

### **7.3. Grégoire Ficheur**

Professeur Ficheur nous a dans un premier temps présenté la réutilisation de données.

Pour obtenir de la data il y a l'approche traditionnelle qui consiste à faire une étude ou une expérience puis à analyser les résultats. Cette méthode bien que la plus précise possède des failles, elle est très coûteuse en argent et en temps de plus certaine étude peuvent être dur à mettre en place (pathologie rare on aura du mal à avoir un échantillon suffisamment important pour mener une étude).

A côté de ça on a une approche re-use qui consiste à reprendre des données récoltées précédemment pour autre chose. Ici les données peuvent récupérer beaucoup plus vite avec peu d'argent. Il peut cependant avoir des problèmes car les données ne sont pas forcément adaptées et ne peuvent parfois répondre que partiellement à notre problématique.

Cette approche re-use est connue depuis longtemps dans les supermarchés ou assurances, par exemple elle est arrivée un peu plus tard dans le monde médical. Les données peuvent provenir de résultats de laboratoires, de prescriptions de médicaments, de diagnostics de spécialistes, de data hospitalières ou démographiques. Dans un hôpital les données sont conservées au moins 30 ans. Cette récupération permet de créer un nouveau jeu de données efficace que l'on peut analyser.

Il nous a par la suite présenté différents niveaux d'IA. Le premier niveau où l'IA effectue simplement des règles de base on parle ici intelligence artificielle logico symbolique. Le niveau 2 consiste à apprendre en observant des expériences pour en déduire des règles, des associations qui peuvent être par la suite appliquées. On trouve à ce niveau par exemple les algorithmes de réseaux de neurones ou encore de deep learning. Enfin le dernier niveau serait un niveau où l'intelligence forte ou l'IA est capable de s'adapter intelligemment. On ne sait par contre toujours pas comment il serait possible d'atteindre ce niveau.

L'utilisation de l'IA dans la santé est différente de celle qui peut être utilisé dans des contextes plus classiques. En effet ici l'IA sert seulement d'indicateur ou support au médecin qui est le seul à prendre la décision "intelligente" à la fin. On introduit l'humain à de nombreuses étapes de l'algorithme pour filtrer les erreurs.

Pr Ficheur a expliqué l'intérêt du feature extraction pour par exemple l'analyse d'image. Le feature extraction va permettre de cibler la zone à analyser sur l'image pour réduire la complexité de l'algorithme cela permet aussi de gérer les situations avec de données manquantes en les remplaçant par des valeurs clefs (exemple la moyenne de ses voisins) cela nécessite tout de même de bien comprendre le set de donnée avec lequel on travail pour savoir quel changement ne sont pas aberrants au vu de la situation.

On a ensuite fait une étude de cas sur une IA sur les prescriptions médicamenteuses, les pharmaciens ont jugé que les alertes de l'IA étaient 96% du temps injustifiées. Pour ce genre de système alertant ils seraient alors très importants de mettre en place un système de filtrage basé sur un ensemble de règles fournies par les pharmaciens eux-mêmes.

Le mot de la fin sur notre algorithme d'ordonnancement au sein des urgences. Il est important que le programme n'oblige pas le personnel à faire des choses contre leur gré et il faut au maximum pouvoir transférer le travail qui peut l'être vers du personnel moins qualifié.

#### **7.4. Jean-Marie Renard**

Monsieur Renard nous a dans un premier temps parler de l'ingénierie logistique et de la santé. Les hôpitaux sont pilotés par l'agence régionale de santé (ARS) qui alloue à chacun des établissements les ressources nécessaires à chacun d'entre eux selon leur taille, leurs services... La politique actuelle est plutôt d'essayer de rassembler un maximum de service dans un même centre pour en faciliter la gestion cela pose tout de même des problèmes et créer des déserts médicaux pour certaines spécialités, exemple il y a peu de centre de grands brûlés dans la région.

Chaque citoyen français doit pouvoir se trouver à moins de 10 minutes d'une unité du SAMU où qu'il soit sur le territoire, particularité du système français il y a des médecins qui viennent avec le SAMU pour pouvoir commencer à soigner dès qu'ils arrivent, alors que dans les pays anglo saxons ce sont seulement des infirmiers qui se déplacent. On a aussi appris qu'il serait très utile de mettre en place des outils logistiques qui permettent de gérer les gens qui viennent aux urgences pour des raisons futiles (ils sont de plus en plus nombreux). Quelques ordres de grandeurs sur le CHU 3200 lits avec en 2020 environ 220000 personnes prises en charge.

La problématique du manque de lits est assez fréquente pour pallier ce problème: on procède à un transfert dans un autre hôpital. L'intérêt d'un outil d'ordonnancement pourrait être de s'assurer qu'il n'y a bien pas de place ailleurs dans l'établissement. Optimiser le parcours aux urgences prend en compte la gravité de la situation ainsi que le matériel qui va être nécessaire pour sa prise en charge: oxygène, scanner, IRM...

Aux urgences on a une première attente primaire avant que l'infirmière donne un premier diagnostic. Puis une attente secondaire où l'on attend ces résultats, pendant ces temps d'attente une infirmière est chargée de faire des tours pour vérifier que l'état d'un patient ne s'aggrave pas drastiquement.

En conclusion il y a du travail en ingénierie dans les hôpitaux, de nombreux progrès restent à faire mais ce n'est pas non plus l'elDorado comme certains pourraient le penser.

## 7.5. Michèle Vasseur

### **Contexte:**

Cette conférence porte sur la pharmacologie et ses perspectives pour le futur. Tout d'abord, le sujet du risque lié à la prescription médicamenteuse est abordé, avec des statistiques marquantes: aux USA, 1 patient sur 10 est hospitalisé à la suite d'une erreur et un décès sur 10 à l'hôpital est dû à une erreur médicale. Les mêmes chiffres sont observables chez nous.

Dans une première partie, Michelle Vasseur nous décrit la pharmacotechnie à l'hôpital actuellement: qu'est-ce qu'une préparation, les différentes formes galéniques et indications thérapeutiques. Le protocole à respecter pour administrer des préparations est assez contraignant: il faut avoir les locaux, le personnel et les équipements de préparation et de contrôle adaptés. De plus, les préparations hospitalières sont soumises à autorisation. En septembre 2022, une nouvelle version des pratiques recommandées a été mise en place.

Le volume des préparations étant énorme, il peut être intéressant de faire appel à un prestataire, cependant cela pose des problèmes logistiques avec la chaîne du froid, il faut gérer la compatibilité des logiciels...

Aujourd'hui, les préparations sont faites à la main et cela engendre des risques: mauvaise dilution, mauvaise asepsie, mauvais produits... Ces risques ne sont pas négligeables étant donné la multiplicité des préparations, le stress des opérateurs, la fatigue... Ainsi, 0,45% des préparations comportent des erreurs, dont 0,19% sont des erreurs majeures.

### **Automatisation et robotisation:**

L'automatisation du processus de préparation présente plusieurs enjeux: la réduction des erreurs de manipulation, augmenter l'efficacité, transférer les compétences vers des tâches plus valorisantes. L'automatisation est plus adaptée pour des préparations pénibles ou lentes. Aujourd'hui, il existe des automates pour les préparation injectables, mais aussi pour les cytotoxiques.

On trouve également des robots de préparation. Ceux-ci peuvent avoir un bras ou deux. D'après une étude au CHU de Lille en 2018, l'implantation de tels robots pourrait permettre d'augmenter considérablement le nombre de préparations anticancéreuses qui croît actuellement de 6% par an. Au niveau des coûts de production, on pourrait également diminuer le coût du process de 20%.

### **IA pour la pharmacologie:**

Pour le processus d'essai des préparations, on utilise des logiciels basés sur l'IA et les études statistiques comme Chimio.

Également, un processus de "Nouvelle fabrication" pourrait permettre de dématérialiser les étiquettes et améliorer la fiabilité et traçabilité du processus. Avec cela, un protocole utilisant des lunettes de réalité augmentée, scannant les étiquettes et qui utilise Chimio également

est en développement. C'est encore en phase de test mais ça paraît très prometteur pour le futur.

## 7.6. C. Delannoy-Rousselière

Cette conférence porte sur la structuration du système de santé et les problématiques posées par l'informatisation du système. Tout d'abord, une informatisation est assez longue: par exemple, les prescriptions médicamenteuses informatisées ont commencé à partir de 2012, mais le système n'est toujours pas complètement informatisé. D'après les statistiques, en 2016 aux USA, 10% des décès sont dus à des erreurs médicales et environ 50% des erreurs évitables sont dues à des erreurs médicales. D'où l'intérêt de travailler sur l'IA. Egalement 50% des hospitalisations en 2004 sont dues à un problème médicamenteux.

Du côté de l'organisation des pharmacies actuelles au CHU: on y trouve en grande partie des archives papiers. Les prescriptions sont informatisées mais il y a quelques erreurs lors des manipulations du logiciel par des nouveaux internes par exemple.

La gestion des stocks au CHU: on a au CHU 1 pharmacie centrale avec distribution robotisée : pour la plupart des médicaments (un automate=1 million€) + picking manuel pour les doliprane par exemple (trop gros volume pour robotiser, mais nécessiterait tout de même un système de scan pour sécuriser la distribution). Dans chaque unité de soin: 1 armoire automatisée sécurisée avec des stocks d'avance liés au service. Lors de la distribution au patient: scanning du produit

On peut évaluer le circuit du médicament: avec les 5B : Bon Produit de Santé, Bon dosage/taille, Bonne voie d'administration, bon patient, bon moment.

Informatisation des hôpitaux : différents logiciels requis parfois développés par des éditeurs différents : DPI, LAP, LAD, gestion économique, administratifs, information médicale... et parfois les éditeurs ne prennent pas trop en compte la cohérence des différents modules.

La communication entre logiciels est difficile, car différents numéros patients ont été créés pour repérer un patient : IPP, IEP, NIR, INS(bientôt disponible pour échanger des données avec la ville).

Egalement différents numéros patients créés pour repérer un médicament: CIP(+pour les commandes fournisseurs), UCD, GEF, ATC. Piège en IA: le code UCD dépend de la marque et de la plus petite unité de dispensation, il faut faire attention de ne pas différencier les médicaments par leur marque dans un logiciel sur la prescription (code ATC peut-être meilleur).

Pour l'interopérabilité médicale: le format HL7 est mieux adapté : HL7\_PAM et HL7-HPRIM: échanges avec les laboratoires.

Pour les dossiers de pds : HL7 FHIR V4 ou PN13(fr mais de grands taux d'erreurs dans l'intégrabilité dans les logiciels).

Actuellement une équipe travaille à regrouper dans une grande table toutes les correspondances et codes (UCD, HL7...)

En pratique, chaque service demande des spécificités particulières qui se différencient du logiciel général : urgence, réa, anesthésie, dialyse, néonatalogie. Ccl : on n'arrive pas avec un seul logiciel à mailler tous les services/soins. Donc en pharmacie par exemple, c'est très

complexe : on peut avoir plusieurs références pour un médicament, ce qui rend la traçabilité difficile et le risque d'erreur plus grand.

Pour ces problèmes, a suivi une approche bottom-up : on a un problème sur le terrain => il y a développement d'une solution pour régler ce problème. Ainsi, la complexité de l'hôpital se traduit en un système informatique complexe.

Il existe plusieurs circuits de délivrance: globale, globalisée ou DJIN , et on distingue 2 types de gestion : en dotation/hors dotation.

En dotation: Prescription->picking->administration d'armoire (décrément du stock)->réapprovisionnement régulier

Hors dotation: on apporte directement les médicaments du stock général au patient.

Les intérêts de l'automatisation: tout d'abord la réglementation l'encourage, ensuite plus il y a d'interventions humaines, plus il y aura d'erreurs.. Pour l'aspect financier, cela permet une meilleure gestion du personnel.

Il existe également d'autres modèles : par exemple la distribution (re)globalisée : dont le but est l'utilisation d'espace de stockage bcp plus grands (envisagé pour les dispositifs médicaux).

Ce sont des systèmes semi-automatisés avec agents et tapis roulants ou totalement automatisés: le robot range aléatoirement et sait lui-même où sont tous les médicaments. Par contre c'est compliqué à gérer en cas de panne.

L'IA dans la santé: elle peut être utilisée pour : l'analyse d'imagerie médical, l'amélioration de la communication, la chirurgie, la détection d'erreurs...

Pour la détection des erreurs médicamenteuses, le SADM a été développé, qui est un système d'aide partiel. Seulement, ce système renvoie trop d'alertes, Over Alerting, pas d'ordre de sévérité. On a donc développé plutôt des SADP (pharmaceutique).

## 8. Conclusion

Cet électif nous a permis de trouver une application concrète à l'IA, ainsi qu'aux différentes techniques d'ordonnancement. Pour cela, la base de données fournie par le CHU a été instructive, permettant des analyses statistiques et de développer des outils de prédiction du temps d'attente. L'application directe est un véritable plus par rapport à un simple cours. On ajoute à ça les nombreuses interventions du personnel hospitalier qui nous transportent rapidement dans l'environnement complexe qu'est l'hôpital.

Des interventions instructives qui nous ont permis de nous rendre compte des difficultés rencontrées par le CHU et l'aide que la technologie pouvaient leur apporter. Même si le monde médical est pour une partie assez réticent au changement.

## 9. Annexes

- **Annexe 1** : ordonnancement.ipynb, fichier avec le code utilisé pour faire des algorithmes et analyse des méthodes métahéuristiques d'ordonnancement.
- **Annexe 2** : Analyse.ipynb
- **Annexe 3** : Machine learning.ipynb
- **Annexe 4** : Machine learning OHE.ipynb
- **Annexe 5** : Modèle\_Workflow.bpm, fichier avec la modélisation workflow réalisé au Bizagi.
- **Lien pour le dossier Drive :**  
<https://drive.google.com/drive/u/0/folders/16oO8QPstU8QmNS-7UhukSLgMLfn5xcqx>

## 10. Bibliographie

### Analyse de données

- <https://pandas.pydata.org/docs/>
- <https://scikit-learn.org/stable/modules/classes.html>

### RFID

- <https://www.rfiddiscovery.com/fr/content/etudes-de-cas>
- <https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/tech-rfid-4187/>
- [https://www.gta.ufrj.br/grad/15\\_1/rfid/aplicacoes.html](https://www.gta.ufrj.br/grad/15_1/rfid/aplicacoes.html)
- <https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/rfid-la-securite-en-questions-11008/>

### Problèmes NP-Complet, Méthodes métahéuristiques, Systèmes multi agents

- <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02829218>
- <http://www.scholarpedia.org/article/Metaheuristics>
- <https://machinelearningmastery.com/simple-genetic-algorithm-from-scratch-in-python/>
- <https://towardsdatascience.com/genetic-algorithm-implementation-in-python-5ab67bb124a6>
- <https://algodaily.com/lessons/introduction-to-genetic-algorithms-in-python>
- <https://medium.com/swlh/tabu-search-in-python-3199c44d44f1>
- <https://smartmobilityalgorithms.github.io/book/content/TrajectoryAlgorithms/TabuSearch.html>
- <https://machinelearningmastery.com/simulated-annealing-from-scratch-in-python/>
- <https://www.youtube.com/watch?v=eBmU1ONJ-os&t=582s>
- <https://www.youtube.com/watch?v=l25LUoTWRVE&t=15s>
- <https://www.youtube.com/watch?v=uQj5UNhCPuo&t=21s>
- <https://www.youtube.com/watch?v=u4sMcDT5XS4&t=342s>

- <https://www.youtube.com/watch?v=eekow29FSoc&t=16s>
- <https://www.youtube.com/watch?v=s7i-TZvlyWQ&t=4s>
- <https://www.youtube.com/watch?v=PDrAsw3UIIA&t=121s>
- <https://www.youtube.com/watch?v=ocp3OdOvrZM>