



# Contributions autour de l'aide à la décision clinique : organisation et planification

28 juin 2022

*Gilles Dequen*



# e-Santé

## Informatique

## Automatique et Robotique



Systèmes Distribués  
Parallélisme  
Mots et analyse musicale  
Big Data, IoT  
Cloud Computing/Storage

*Optimisation pour la commande*



Dynamique des systèmes flous  
Contrôle moteur  
Commande Tolérante aux fautes  
Conversion des énergies renouvelables

*Véhicules d'exploration*

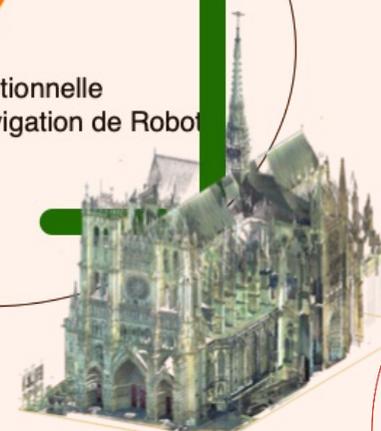


Modélisation par contraintes  
Optimisation combinatoire, Graphes  
Cryptographie/Cryptanalyse  
Connaissances

*Sécurisation des échanges dans les systèmes distribués à large échelle*



Vision non-conventionnelle  
Localisation et navigation de Robot  
E-Cathédrale





## ADM

J.L. Guérin, G. Dequen,  
R. Carette

## SimuStor-e

L. Devendeville, C. Lucet,  
S. Caillard



## LORH

L. Devendeville, C. Lucet,  
O. Gérard



## ADAPT

G. Caron, F. Morbidi,  
E.M. Mouaddib, S.  
Delmas, J. Ducrocq



## 3P-U

G. Dequen, E. Arnaud, M.  
Elbattah, D.A. Ghazali



## ALOHA

J.L. Guérin, G. Dequen  
M. Elbattah



## RE-BAN

W. Baddredine, H. Trannois,  
F. Levé, D. Durand



## Smart Angel

D. Durand, J. Bosche, J.L. Guérin,  
H. Trannois, F. Levé, W.  
Baddredine, G. Dequen, S. Cohen,  
C. Mauger, F. Viton, M. Elbattah

## e-Moove

D. Durand, J. Bosche, P.  
Moreau



## ADM

J.L. Guérin, G. Dequen,  
R. Carette

## SimuStor-e

L. Devendeville, C. Lucet,  
S. Caillard



## LORH

L. Devendeville, C. Lucet,  
O. Gérard



## ADAPT

G. Caron, F. Morbidi,  
E.M. Mouaddib, S.  
Delmas, J. Ducrocq



## 3P-U

G. Dequen, E. Arnaud, M.  
Elbattah, D.A. Ghazali



## ALOHA

J.L. Guérin, G. Dequen  
M. Elbattah



## RE-BAN

W. Baddredine, H. Trannois,  
F. Levé, D. Durand



## Smart Angel

D. Durand, J. Bosche, J.L. Guérin,  
H. Trannois, F. Levé, W.  
Baddredine, G. Dequen, S. Cohen,  
C. Mauger, F. Viton, M. Elbattah

## e-Moove

D. Durand, J. Bosche, P.  
Moreau

# 3P-U : Contexte du service d'urgences (régulation)



hospitalier Universitaire d'Amiens  
urgences

SAUPA UHTCD SALV

Attente Soins C Soins L1 Soins L2 Zone de transit Examen Synthèse Attente de clôture

Attente IOA	Attente Soins Courts	Attente Soins Longs
GENEVIEVE 0h 24m MED 56a	MUGO 3h 30m MED 18a	NATACHA 8h 16m MED 26a
TANIA 0h 8m INF 36a	JORDI 8h 18m C 34a	JEANNE 8h 40m MED 66a
JACQUES 0h 2m INF 57a	PAULO 4h 37m MED 41a	DAMIEL 9h 53m MED 55a
IOA 1 Vide	ANDRE 3h 57m MED 46a	MIGUEL 9h 46m MED 16a
IOA 2 Vide	CLEMENT 3h 32m MED 19a	REMI 9h 30m MED 56a
IOA 3 Vide	JEANNE 3h 21m MED 95a	TEOU 8h 40m MED 24a
IOA 4 Vide	MAXIME 3h 16m MED 29a	SANDRA 5h 14m MED 32a
	ANTOINETTE 2h 36m MED 21a	JEAN 4h 12m MED 67a
	ABEL 3h 18m MED 33a	MICHAEL 3h 52m MED 44a
	CLEMEN 1h 45m MED 22a	MAGALI 3h 49m MED 44a
	SARAH 3h 34m MED 16a	SANDRINE 2h 47m MED 42a
	ESTHER 1h 18m MED 55a	NICOLAS 2h 53m MED 45a

# 3P-U : Contexte du service d'urgences (régulation)

- 2019
  - 21 443 657 passage aux urgences
  - 677 services d'urgences (+0.6% par rapport à 2018)
- SFMU (2014)

« la surcharge aux urgences [est] un dépassement des capacités du service par le nombre de patients en attente d'être vu, d'évaluation, de traitement et de place d'hospitalisation »

# 3P-U : Contexte du service d'urgences (régulation)

- SFMU

- Causes (probablement non exhaustif) de la surcharge

- nombre d'entrées trop important (consultations non urgentes, habitués des services d'urgence, pics d'activité et variations saisonnières)
    - insuffisance de ressources (délais d'attente pour les résultats d'examens complémentaires et délais d'attente pour les consultations spécialisées)
    - nombre de sorties d'hospitalisation trop faibles (nombre de lits disponibles, organisation de l'hospitalisation programmée et refus des services à accueillir le patient)

- Conséquences

- Augmentation de la « morbi-mortalité »
    - Augmentation du nombre de patients « partis sans attendre »
    - Etc.

# 3P-U : Contexte du service d'urgences (régulation)

- Solutions possibles pour lutter contre la surcharge (SFMU)
  - Augmentation des hospitalisations directes
  - Suivi de tableaux de bord
  - Mise en place d'une politique d'attribution de lits
  - Anticipation des admissions en hospitalisation
  - Etc.

# 3P-U : Contexte du service d'urgences (régulation)

- Solutions possibles pour lutter contre la surcharge (SFMU)
  - 3P-U (et LORH dans une moindre mesure)
    - Augmentation des hospitalisations directes
    - Suivi de tableaux de bord
    - Mise en place d'une politique d'attribution de lits
    - Anticipation des admissions en hospitalisation
    - Etc.
  - Objectif : En condition réelles et en temps réel, discriminer au plus tôt le patient avec une forte probabilité d'hospitalisation

# 3P-U : Contexte du service d'urgences (régulation)

GESTION DU FLUX



ANTICIPATION PARCOURS



12 dossiers  
1 Attente  
2 Soins C  
9 Soins L  
0 Examens  
12 Non clôturés  
2 annonces

Attente Service

0	0
0	1
0	7
0	2
0	1

Total vus

0	11
---	----

Non vus

1	0
---	---



DÉPEND DISPONIBILITÉ



DÉPEND EXPÉRIENCE



# 3P-U : Contexte du service d'urgences (régulation)

GESTION DU FLUX



ANTICIPATION PARCOURS



## Analyse de Resurgences

71 patients dont 9  $\geq$  75 ans

Dernier processus: Aucune génération effectuée



Biologie

En cours 8 Fait 17

Radio

Demandé 21 Fait 2

Scanner

Demandé 3 En cours 2 Fait 2

AVIS demandés

Cardiologue (int)

2 / 2

Destinations

Retour au domicile 10 À hospitaliser 5 À évacuer 2

## Indicateurs de surcharge

Patients 71

CIMU 2 0

CIMU 3 6

## Lits disponibles

Spécialité	H	F	Ind	Total
Médecine	8	7	17	32
Réanimation	-	-	13	13
Chirurgie	2	3	8	13
Soins continus	-	-	3	3

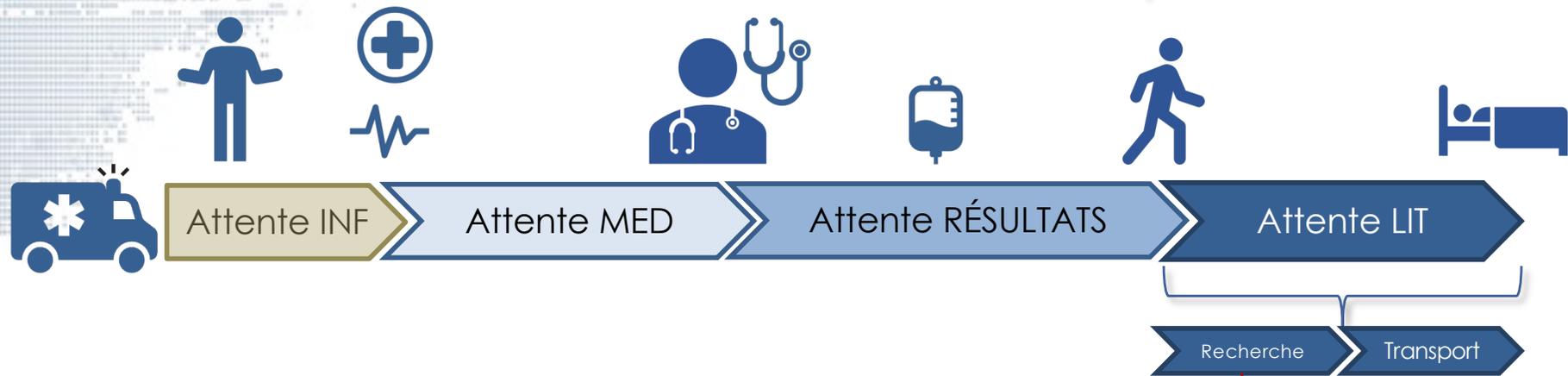


# 3P-U : Contexte du service d'urgences (régulation)

ANTICIPATION PARCOURS 

6h00 à 7h00

4h04

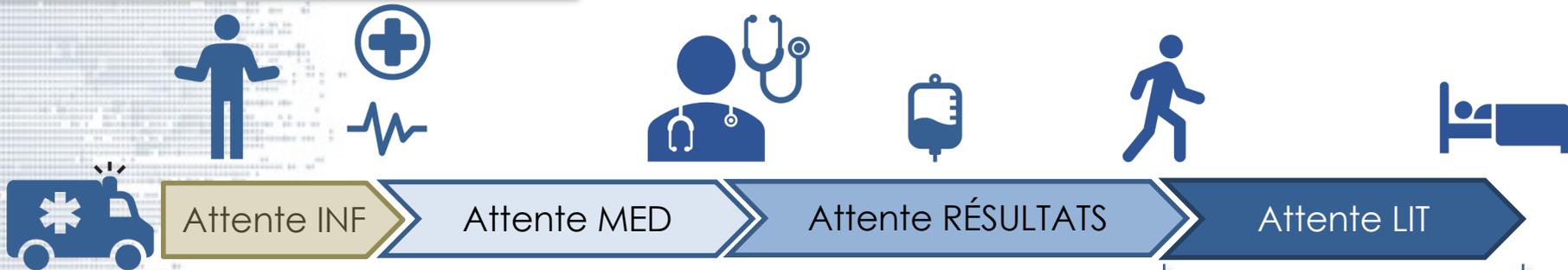


ANTICIPABLE

# 3P-U : Contexte du service d'urgences (régulation)

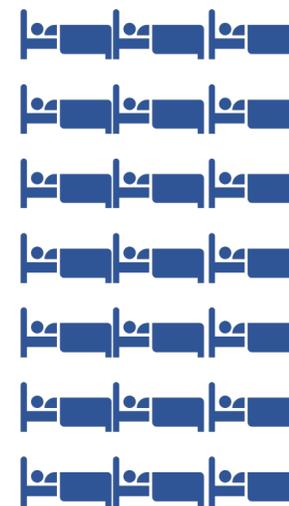
## Situation idéale

ANTICIPATION PARCOURS



GRAND NOMBRE DE PATIENTS

ANTICIPABLE

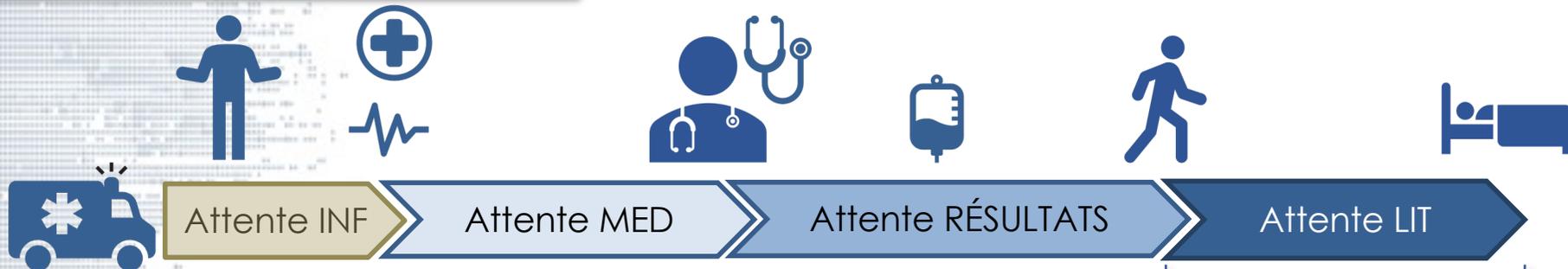


LITS DISPONIBLES

# 3P-U : Contexte du service d'urgences (régulation)

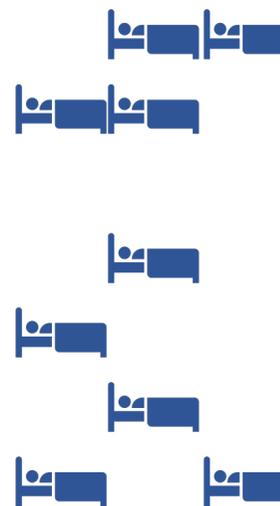
## Situation réelle

ANTICIPATION PARCOURS



GRAND NOMBRE DE PATIENTS

ANTICIPABLE

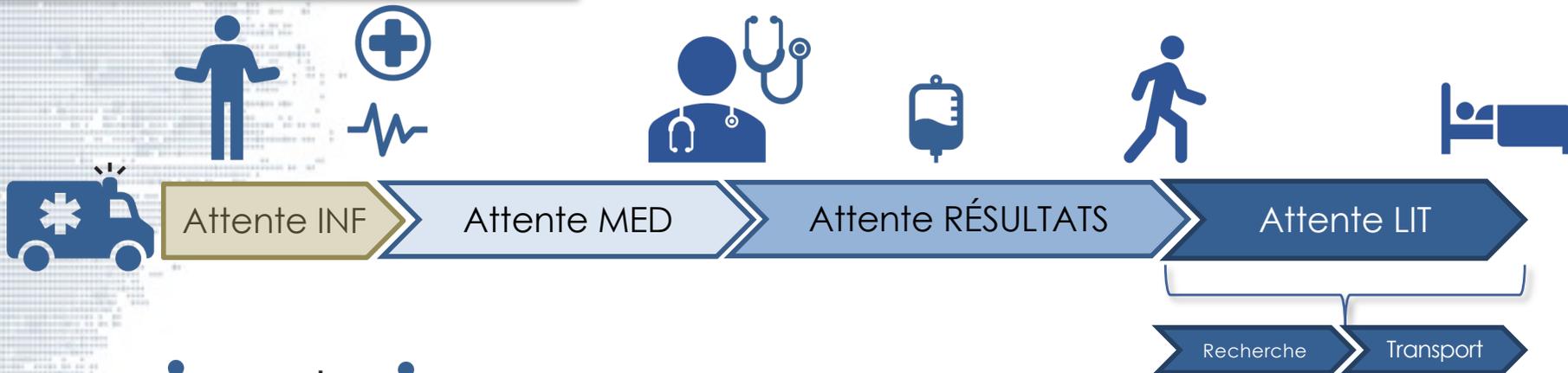


PEU DE LITS DISPONIBLES

# 3P-U : Contexte du service d'urgences (régulation)

## Situation réelle

ANTICIPATION PARCOURS

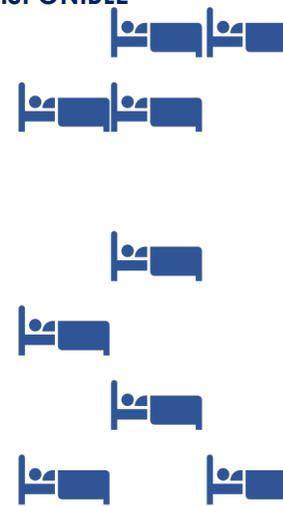


GRAND NOMBRE DE PATIENTS

PAS ANTICIPABLE



PAS DE TEMPS MÉDICAL DISPONIBLE

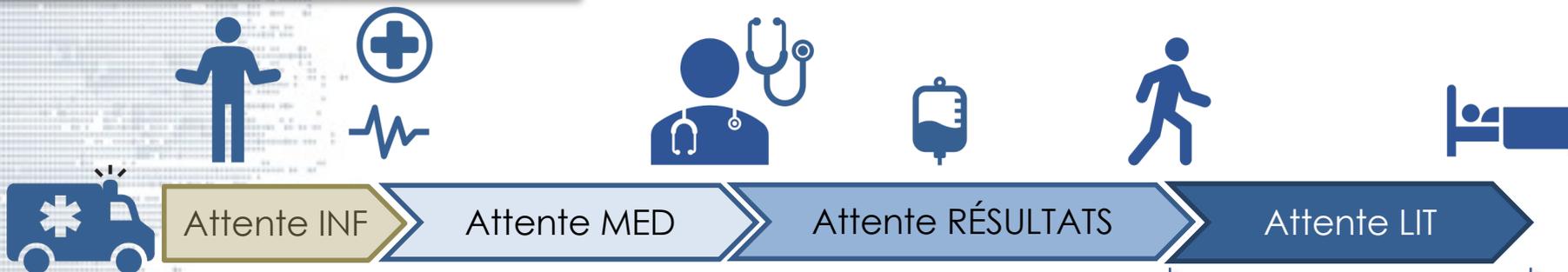


PEU DE LITS DISPONIBLES

# 3P-U : Contexte du service d'urgences (régulation)

## Situation 3P-U

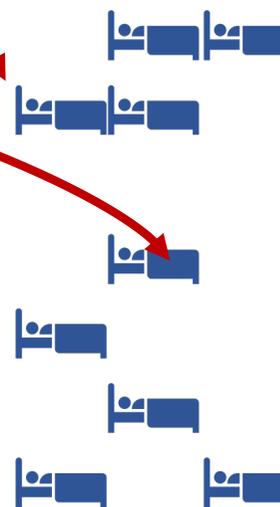
ANTICIPATION PARCOURS



FORTE PROBABILITÉ



ANTICIPABLE



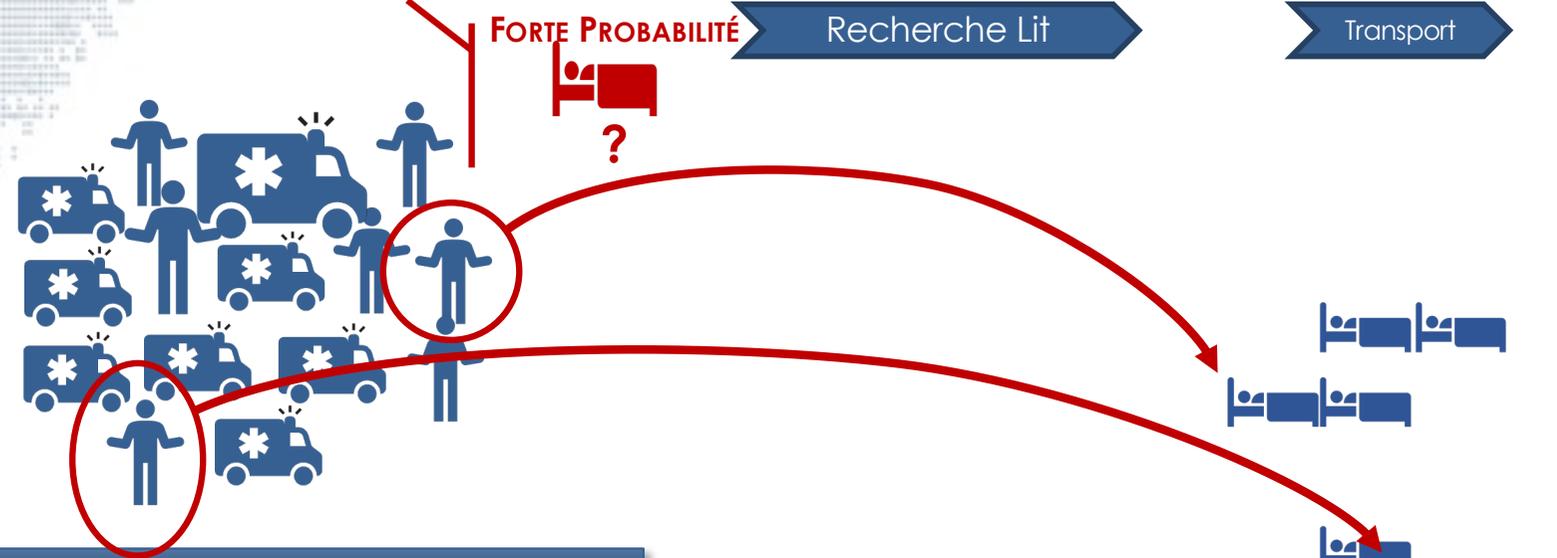
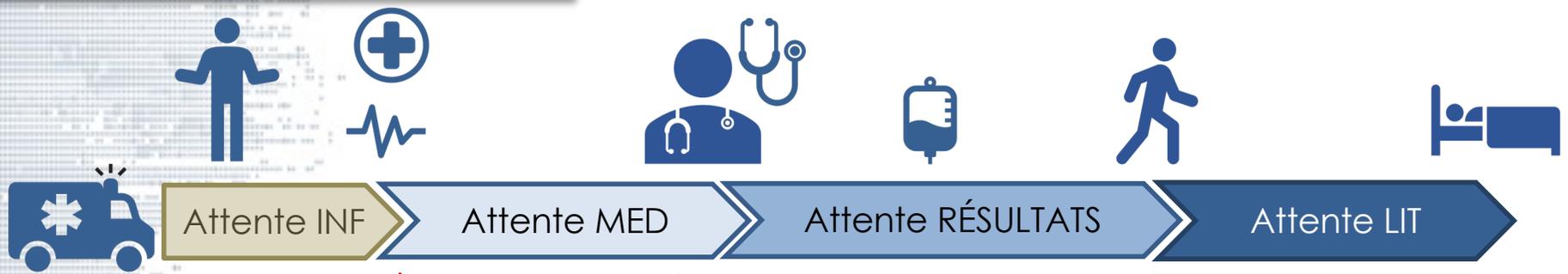
GRAND NOMBRE DE PATIENTS

PEU DE LITS DISPONIBLES

# 3P-U : Contexte du service d'urgences (régulation)

## Situation 3P-U

ANTICIPATION PARCOURS 



GRAND NOMBRE DE PATIENTS

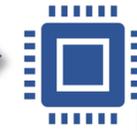
PEU DE LITS DISPONIBLES

# 3P-U : Objectif de réduction du temps de passage

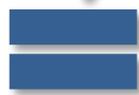
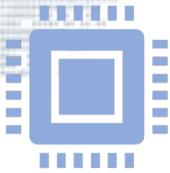
## ETAPE DE TRIAGE (INFIRMIER/E)



6 046  
CONSULTATIONS



4 371  
PREDICTED PATIENTS



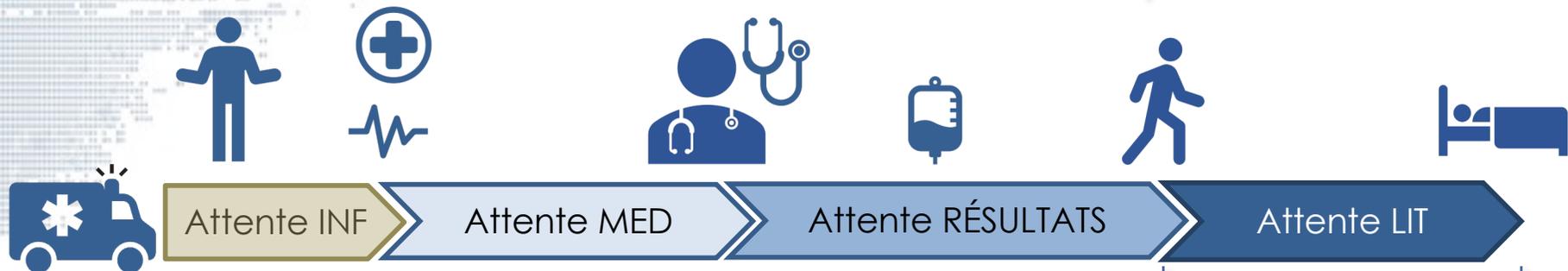
	288	96
	974	3 163

# 3P-U : Contexte du service d'urgences (régulation)

ANTICIPATION PARCOURS 

6h00 à 7h00

4h04



Recherche

Transport

ANTICIPABLE



87,2%

VALEUR PRÉDICTIVE POSITIVE

# 3P-U : méthodologie

- Critères de jugement de la prédiction
  - Aire sous la courbe ROC
  - Précision (critère secondaire)
  - Sensibilité (critère secondaire) pour un seuil décisionnel à 80%
  - 233814 passages entre 2015 et 2018
    - Apprentissage
  - Evaluation
    - Novembre 2019
    - 4371 patients
  - VPP = 87.2%
  - Sensibilité = 18,8%

# 3P-U : méthodologie (apprentissage supervisé)

- Données issues du service des Urgences du CHU Amiens Picardie



- 260 000 passages entre 2015 et 2019
  - Qualification – « Hospitalisation » ou « Retour à domicile »

<b>Year</b>	<b>Number of Records</b>	<b>Hospitalization %</b>
2015	53,465	35.6%
2016	57,963	35.4%
2017	60,155	34.1%
2018	61,794	34.0%
2019	30,615	33.1%

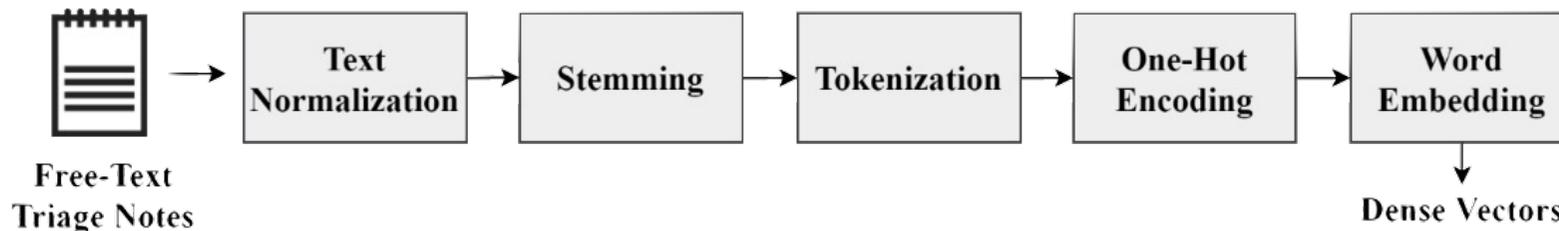
# 3P-U : méthodologie (apprentissage supervisé)

- 38 variables récoltées
  - Ou pouvant être récoltées
  - 10 exclusions
    - ID, date de retour à domicile, etc.
- 28 Variables considérées
  - 9 catégorielles
  - 15 numériques
  - 4 textuelles

#	Field Name	Type
1	Arrival (Week Day /Hour)	Categorical
2	Gender	Categorical
3	Origin	Categorical
4	Arrival Modlaity	Categorical
5	Accompaniers	Categorical
6	Family Status	Categorical
7	Waiting Modality	Categorical
8	Reason for Encounter	Categorical
9	Circumstances	Categorical
10	Age	Numeric
11	Oxygen Flow	Numeric
12	Heart Rate	Numeric
13	Respiration Rate	Numeric
14	Systolic Blood Pressure	Numeric
15	Diastolic Blood Pressure	Numeric
16	Pain Scale	Numeric
17	Temperature	Numeric
18	Oxygen Saturation	Numeric
19	Capillary Blood Glucose	Numeric
20	Capillary Blood Hemoglobin	Numeric
21	Bladder volume	Numeric
22	Capillary Blood Ketones	Numeric
23	Breath Test of Alcohol	Numeric
24	Nurse Triage Scale	Numeric
25	Nurse Notes	Text
26	Psychiatric History	Text
27	Surgical History	Text
28	Medical History	Text

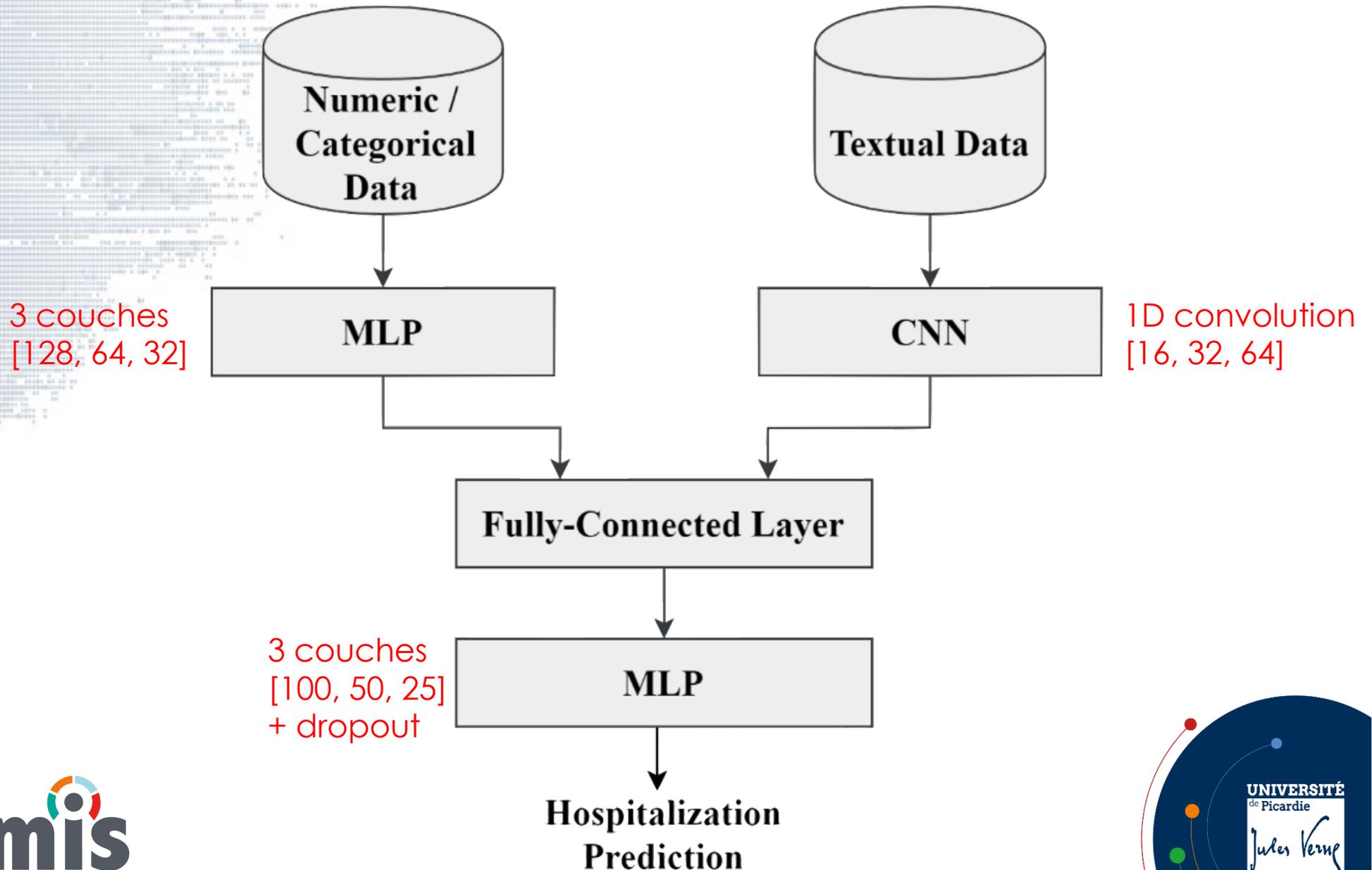
# 3P-U : méthodologie (apprentissage supervisé)

- 28 Variables considérées (Pas de séries temporelles)
  - 9 catégorielles
    - Encodage « one-hot »
  - 15 numériques
    - Normalisation « min-max » sur l'intervalle [0-1]
  - 4 textuelles
    - « Normalisation » eq. Concaténation des données textuelles



- A propos des données manquantes
  - Actuellement
    - Complétion des données selon les « standards médicaux »

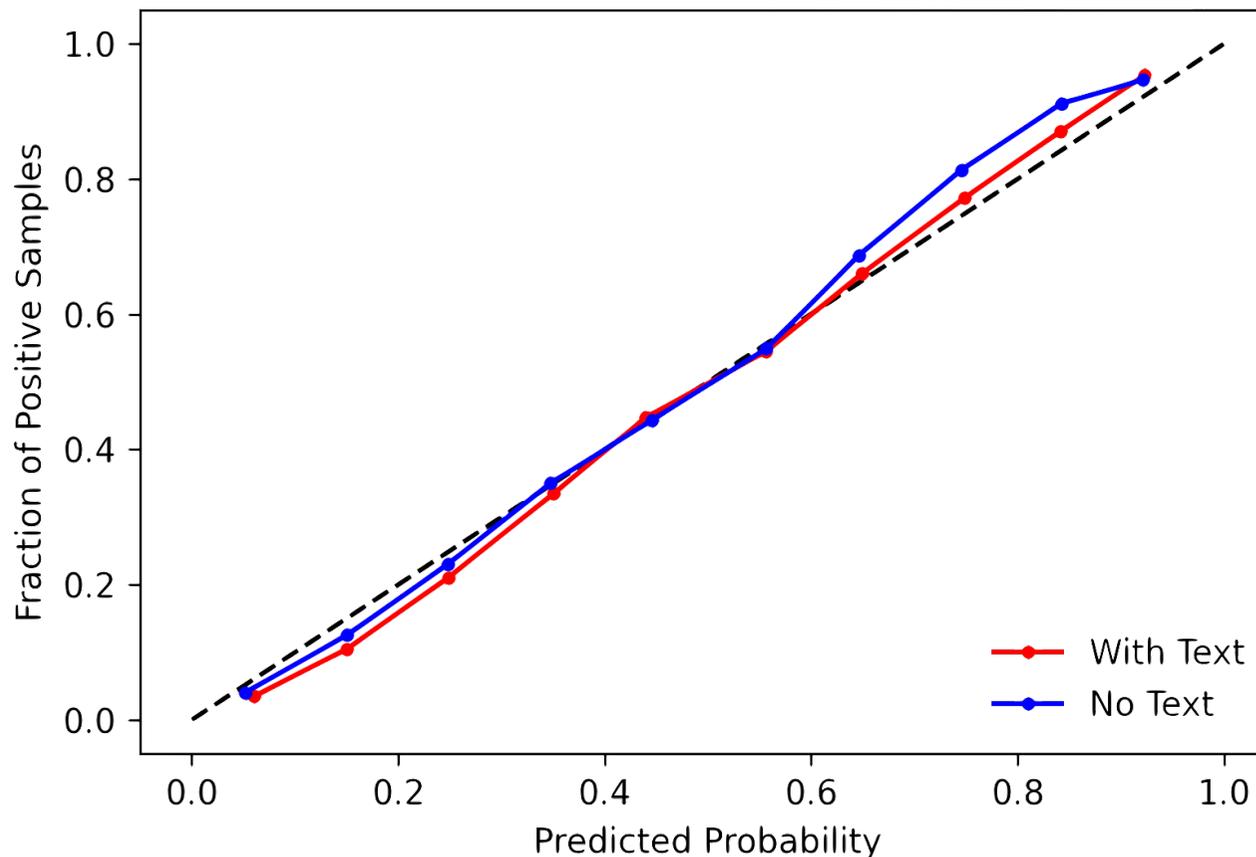
# 3P-U : méthodologie (apprentissage supervisé)



# 3P-U : Apport des données textuelles

(travaux en cours)

- Intégration de camemBERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers – Langue Française)
  - Rappel +4% (60% -> 64%), Précision 72%



# 3P-U – La suite

## ■ Travaux en cours – Données manquantes

*CIMU pour Classification Infirmière de Médecine d'Urgence. SFMU pour Société Française de Médecine d'Urgence*

Variable d'étude	Valeur de remplacement d'une valeur manquante	Valeurs manquantes des données rétrospectives	Valeurs manquantes des données prospectives
Date d'arrivée	Aucune valeur manquante	0 (0%)	0 (0%)
Age	Aucune valeur manquante	0 (0%)	0 (0%)
Sexe	Aucune valeur manquante	0 (0%)	0 (0%)
Accompagnant	La plus fréquente	135 000 (57.7%)	2 025 (46.3%)
Famille	La plus fréquente	111 644 (47.7%)	1 064 (38.8%)
Modalité d'attente	Catégorie fixée : brancard	75 699 (32.4%)	957 (21.9%)
Circonstances	Catégorie la plus fréquente	152 218 (65.1%)	3 193 (73%)
Débit d'oxygène	0 L/min	195 816 (83.7%)	3 791 (86.7%)
Saturation en oxygène	100 %	192 392 (82.3%)	3 775 (86.4%)
Fréquence cardiaque	80 battements/min	61 298 (26.2%)	2 627 (60.1%)
Pression artérielle systolique	120 mmHg	87 663 (37.5%)	2 715 (62.1%)
Pression artérielle diastolique	80 mmHg	87 663 (37.5%)	2 715 (62.1%)
Echelle numérique de la douleur	0	57 563 (24.6%)	2 592 (59.3%)
Température	37.4 °C	80 731 (34.5%)	2 763 (63.2%)
Glycémie capillaire	5.0 mmol/L	200 265 (85.7%)	3 977 (91.0%)
Cétonémie capillaire	0 mmol/L	232 374 (99.4%)	4 351 (99.5%)
Hémoglobine capillaire	12 g/L	226 399 (96.8%)	4 303 (98.4%)
Ethylomètre	0 g/L	229 612 (98.2%)	4 311 (98.6%)
Volume vésical	0 mL	233 426 (99.8%)	4 369 (99.9%)
CIMU	3	3 963 (15.8%)	386 (8.8%)
Motif de consultation SFMU	Transposition des variables (inapplicable)	43 113 (18.4%)	508 (11.6%)

# 3P-U – La suite

- Travaux en cours

- Complétion des données manquantes. Quelles stratégies adopter ?

- « Dropping » ? Sans « Dropping » mais marquage des valeurs manquantes ?

- Valeur constante ? Valeur moyenne ? Complétion médicalement « compatible » ?

- ML (cf. Multiple Imputation Chained Equation) - MICE ?

Strategy	TOTAL NUMBER OF PUBLICATIONS	DROPPING	MEAN	MARKED	ML-HANDLED	FIXED	IMPUTATION	NOT DEFINED	Mean AUROC
DROPPING	30	23	2	2	1	1	1		0.87
MEAN	17		11	2	1		1		0.84
MARKED	7			0	2		1		0.85
ML-HANDLED	13				9				0.86
FIXED	3					2			0.89
IMPUTATION	6						3		0.88
NOT DEFINED	10							10	0.84



## ADM

J.L. Guérin, G. Dequen,  
R. Carette



## SimuStor-e

L. Devendeville, C. Lucet,  
S. Caillard



## ADAPT

G. Caron, F. Morbidi,  
E.M. Mouaddib, S.  
Delmas, J. Ducrocq



## LORH

L. Devendeville, C. Lucet,  
O. Gérard



## 3P-U

G. Dequen, E. Arnaud,  
M. Elbattah



## ALOHA

J.L. Guérin, G. Dequen  
M. Elbattah

## RE-BAN

W. Baddredine, H. Trannois,  
F. Levé, D. Durand



## Smart Angel

D. Durand, J. Bosche, J.L. Guérin,  
H. Trannois, F. Levé, W.  
Baddredine, G. Dequen, S. Cohen,  
C. Mauger, F. Viton, M. Elbattah

## e-Moove

D. Durand, J. Bosche, P.  
Moreau

# LORH (Optimisation des ressources hospitalières)

- Planification des ressources en santé
- Contexte
  - Planifier des « slots » temporels permettant la coordination de différents acteurs et la disponibilité de ressources
  - Modélisation et résolution de modèle sous contraintes
    - Les contraintes
      - Préférences et disponibilité des personnels de santé
      - Disponibilité des salles
      - Disponibilités des ressources matériel
      - Préférences et disponibilité du patient
    - Solution
      - Planifier une séquence temporelle disposant d'un délai « raisonnable » permettant de satisfaire un maximum de contraintes

# LORH (Optimisation des ressources hospitalières)

- Planification des ressources en santé
- Problème RCPSP
  - Resource Constrained Project Scheduling Problem [Le Pape et al., 2006]
  - NP-Difficile [Garey & Johnson]
  - (bref) Etat-de-L'art de sa résolution
  - Méthodes exhaustives
    - Branch-and-Bound, 0-1 programming
  - Métaheuristiques
    - Approches « Swarm » (ACO, wasps, bees, PSO, etc.)
    - Recherche locale, marche aléatoire
    - Algorithmes évolutionnaires
    - Etc.

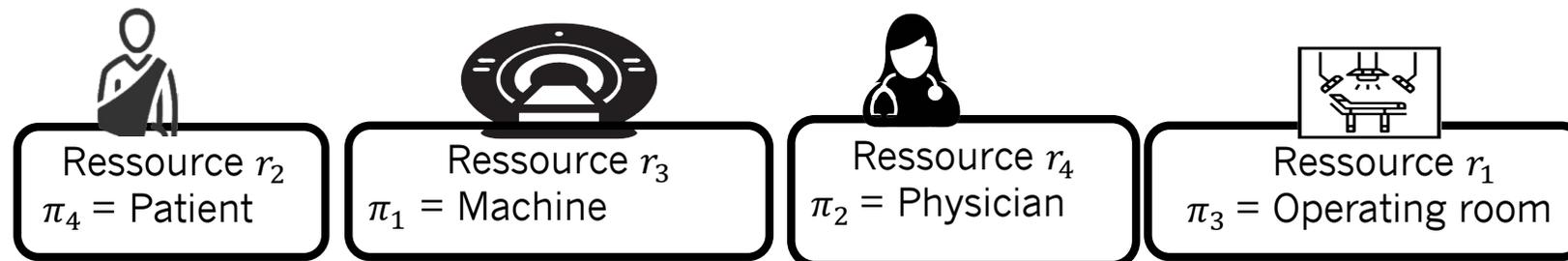
# LORH (Optimisation des ressources hospitalières)

- Planification des ressources en santé
- Problème RCPSP
  - Resource Constrained Project Scheduling Problem [Le Pape et al., 2006]
  - Modèle
    - Quadruplet  $\{R, \Pi, A, H\}$
    - Resp.
      - Ressources disponibles
      - Propriété/Caractérisation de la ressource
      - Eléments à planifier
      - Slots/Créneaux disponibles

# LORH (Optimisation des ressources hospitalières)

$R$  Ensemble des ressources  
 $\Pi$  Ensemble des propriétés

e.g.

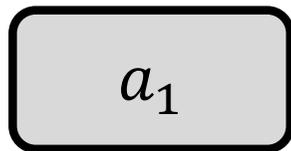


# LORH (Optimisation des ressources hospitalières)

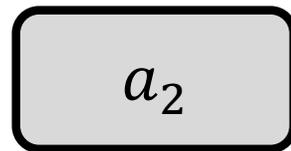
$R$  Ensemble des ressources

$\Pi$  Ensemble des propriétés

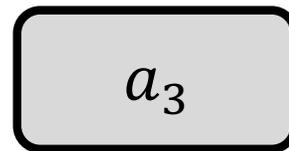
$A$  Ensemble des éléments à planifier



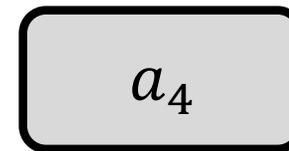
Physiothérapeute  
+  
Patient



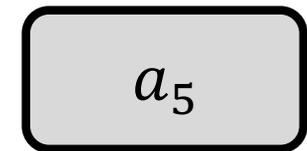
chirurgien  
+  
Patient



chirurgien  
+  
Cardiologue



Physiothérapeute  
+  
Patients



cardiologue  
+  
Patient

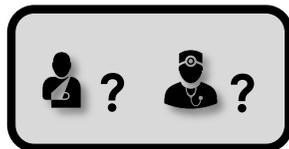
# LORH (Optimisation des ressources hospitalières)

$R$  Ensemble des ressources

$\Pi$  Ensemble des propriétés

$A$  Ensemble des éléments à planifier

*Qu'est-ce qu'un RdV «  $a$  » ?*



- Une durée *duration<sub>a</sub>*
- Un interval de temps [*ES<sub>a</sub>*, *LS<sub>a</sub>*]
- *qtreq<sub>a</sub><sup>π</sup>* Les ressources nécessaires dépendant de la propriété  $\pi$  pour le rdv  $a$
- *pred<sub>a</sub>* l'ensemble des dépendances, soit les RdV devant précéder  $a$

# LORH (Optimisation des ressources hospitalières)

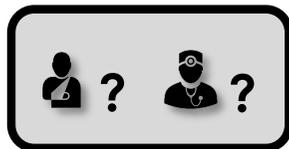
$R$  Ensemble des ressources

$\Pi$  Ensemble des propriétés

$A$  Ensemble des éléments à planifier

*Les éléments de  $A$  sont à associer à*

$H$  Ensemble des slots disponibles



- Une durée  $duration_a$
- Un interval de temps [ $ES_a$ ,  $LS_a$ ]
- $qtreq_a^\pi$  Les ressources nécessaires dépendant de la propriété  $\pi$  pour le rdv  $a$
- $pred_a$  l'ensemble des dépendances, soit les RdV devant précéder  $a$

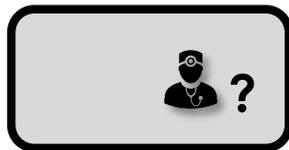
# LORH (Optimisation des ressources hospitalières)

$R$  Ensemble des ressources

$\Pi$  Ensemble des propriétés

$A$  Ensemble des éléments à planifier

$H$  Ensemble des slots disponibles



*Patient<sub>1</sub>*

$\pi_1 = patient$

*(Patient<sub>1</sub>, patient)*

$\in PreAssigned_a$

- *PreAssigned<sub>a</sub>* l'ensemble des couples (ressource, propriété) associés au RdV  $a$

# LORH (Optimisation des ressources hospitalières)

- $R$  Ensemble des ressources
- $\Pi$  Ensemble des propriétés
- $A$  Ensemble des éléments à planifier
- $H$  Ensemble des slots disponibles

Qu'est-ce qui caractérise le rendez-vous  $a$  ?



- **Essential<sub>a</sub>** : Est-ce un rendez-vous vital pour le patient ?
- **Emergency<sub>a</sub>** : Est-ce un rendez-vous urgent pour le patient ?

# LORH (Optimisation des ressources hospitalières)

- Une solution est une association – sous contraintes – des éléments de A et de H minimisant la fonction :

$$f(Sol) = \underbrace{\sum_{a \in A_{\overline{Sol}}} Essential_a}_{\text{Elément n'ayant pu être planifiés}} + \underbrace{\sum_{a \in A_{Sol}} \frac{t_a - ES_a}{LS_a - ES_a} \times Emergency_a}_{\text{Elément planifiés}}$$

Elément n'ayant pu être planifiés

=0 si tout a été planifié

Elément planifiés

=0 si tout a été planifié au plus tôt

# LORH (Optimisation des ressources hospitalières)

- Résolution pratique
  - Adaptative Large Neighborhood Search [Ropke Pisinger, 2006][Gérard et al., 2021]
    - Métaheuristique combinant intensification et diversification
    - Stratégie de redémarrage

Instance	ALNS		CPLEX		$\Delta_f$	Gap <sub>f</sub>
	$f(Sol_{best})$	$ A_{Sol_{best}} $	$f(Sol_{best})$	$ A_{Sol_{best}} $		
SurgDep 1	0	0	0	0	0	0%
SurgDep 2	0	0	0	0	0	0%
SurgDep 3	1	1	0	0	1	100%
SurgDep 4	3.75	2	1.48	0	2.27	153.17%
SurgDep 5	14.54	3	9.54	0	5	52.4%
SurgDep 6	0	0	0	0	0	0%
SurgDep 7	4.31	2	1.48	0	2.83	196.13%
SurgDep 8	0	0	0	0	0	0%

## 3P-U & LORH

- 3P-U
  - Prédiction de la ressource nécessaire en temps-réel
- LORH
  - Optimisation de la gestion de la ressource et de sa ré-optimisation

### En situation

- Résistance au changement, modification des pratiques
- Collaboration CRP-CPO (adaptabilité des usages du numérique en contexte hospitalier)



# Contributions autour de l'aide à la décision clinique : organisation et planification

28 juin 2022

*Gilles Dequen*