

KN  PP

# Problème d'affectation dynamique des emplacements de stockage chez Knapp : vers de l'apprentissage automatique ?

Paul Courtin<sup>1,2</sup>, Axel Grimault<sup>1</sup>, Mehdi Lhommeau<sup>1</sup>, Jean-Baptiste Fasquel<sup>1</sup>

Laboratoire Angevin de Recherche en Ingénierie des Systèmes (LARIS)<sup>1</sup>

Knapp<sup>2</sup>

jeudi 10 septembre 2020

AFIA / ROADEF

5ième journée Recherche Opérationnelle et Intelligence Artificielle

Webinaire



**AfIA**

Association française  
pour l'Intelligence Artificielle

**ROADEF**

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE RECHERCHE OPÉRATIONNELLE  
ET D'AIDE À LA DÉCISION



université  
angers



# Sommaire

- Contexte industriel et académique
- Recherche opérationnelle
- Apprentissage automatique
- Expérimentation
- Synthèse

# Sommaire

- Contexte industriel et académique
- Recherche opérationnelle
- Apprentissage automatique
- Expérimentation
- Synthèse

# Knapp

Europa  
Asien  
Amerika  
Afrika  
Australien

## Chiffres clés

- 4.200 employés (monde)
- 40 sites (monde)
- 1.800 entrepôts opérants
- ~950 M€ chiffre d'affaire (2019)

KNAPP AG  
Günter-Knapp-Strasse 5-7  
8075 Hart bei Graz  
Österreich

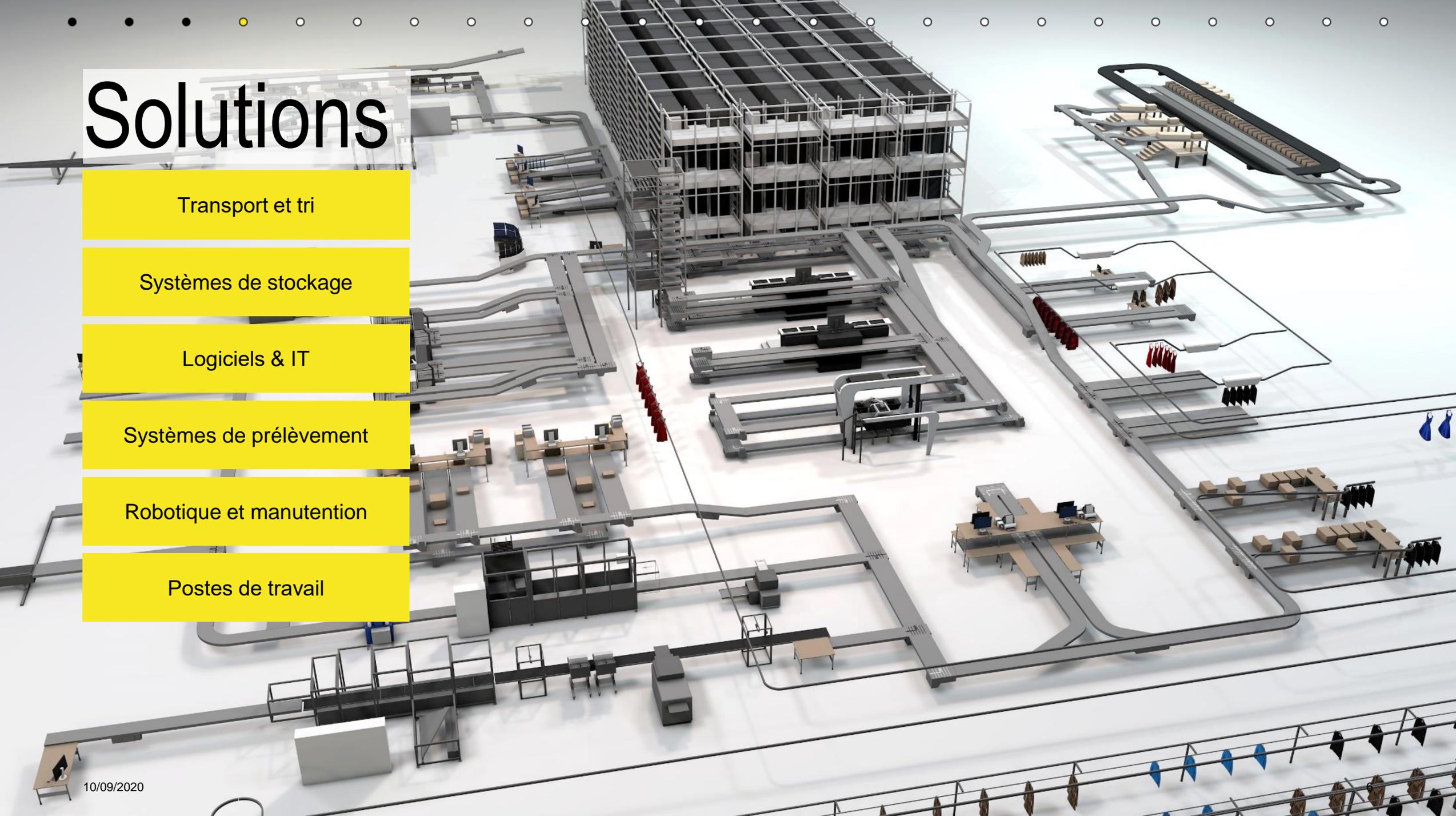
## Produits

Solutions d'automatisation intra-logistique (convoyeurs, logiciels et automates).

## Secteurs d'activité des clients

- santé
- textile et mode
- commerce
- commerce en ligne
- retail omnicanal
- alimentaire
- production.

# Solutions

A detailed 3D architectural rendering of a modern industrial factory floor. The scene is viewed from an elevated perspective, showing a complex network of grey conveyor belts and automated transport systems. In the background, a large, multi-story building with a grid-like facade is under construction. The foreground and middle ground are filled with various workstations, including desks with computers, robotic arms, and storage racks. Some racks are filled with red and blue items, possibly garments or components. The overall environment is clean, bright, and highly organized, representing a state-of-the-art manufacturing facility.

Transport et tri

Systèmes de stockage

Logiciels & IT

Systèmes de prélèvement

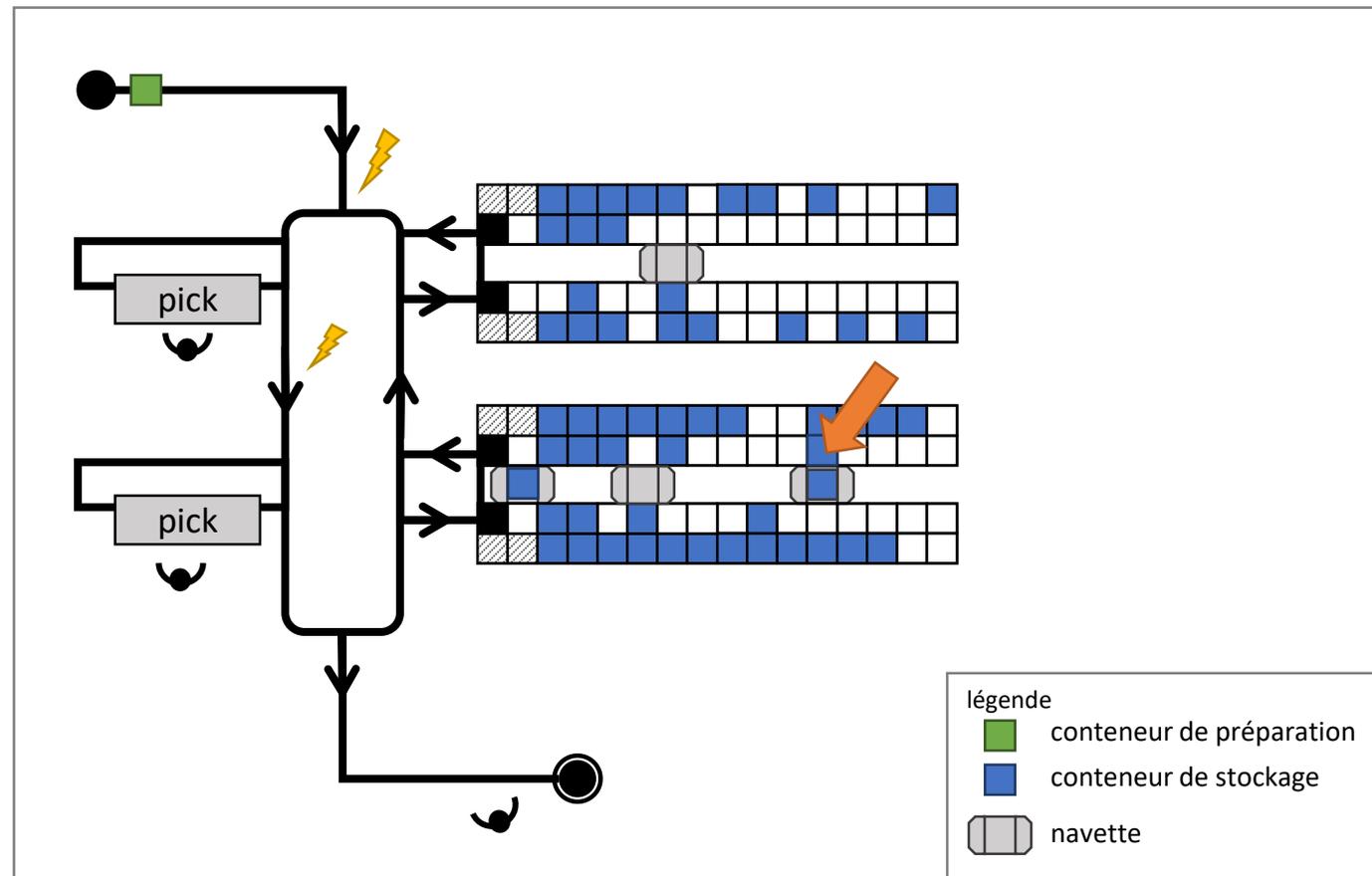
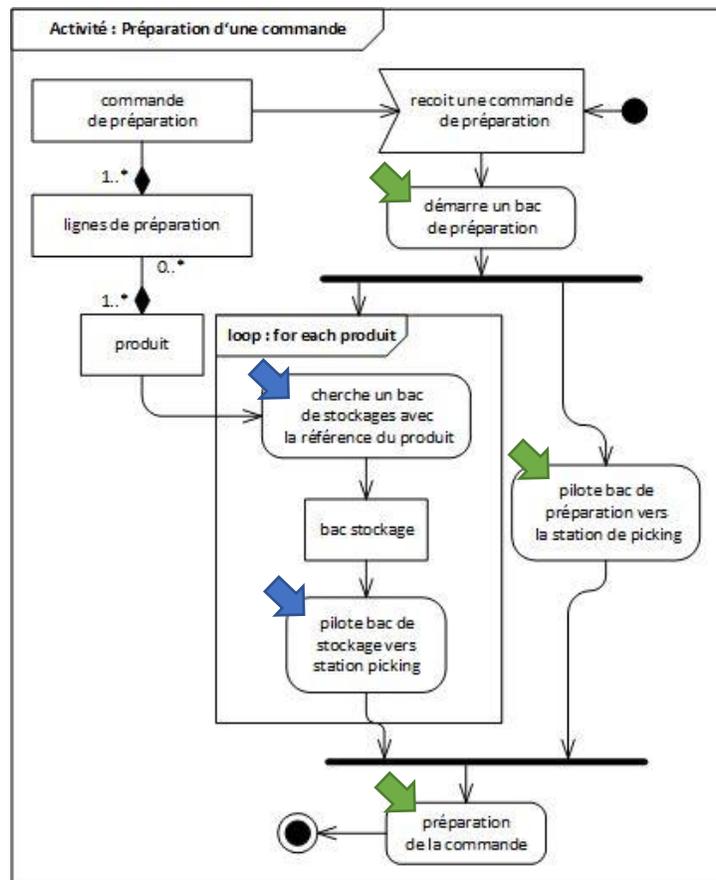
Robotique et manutention

Postes de travail



# Problématique industrielle

Activité principale d'un entrepôt : préparation de commandes.

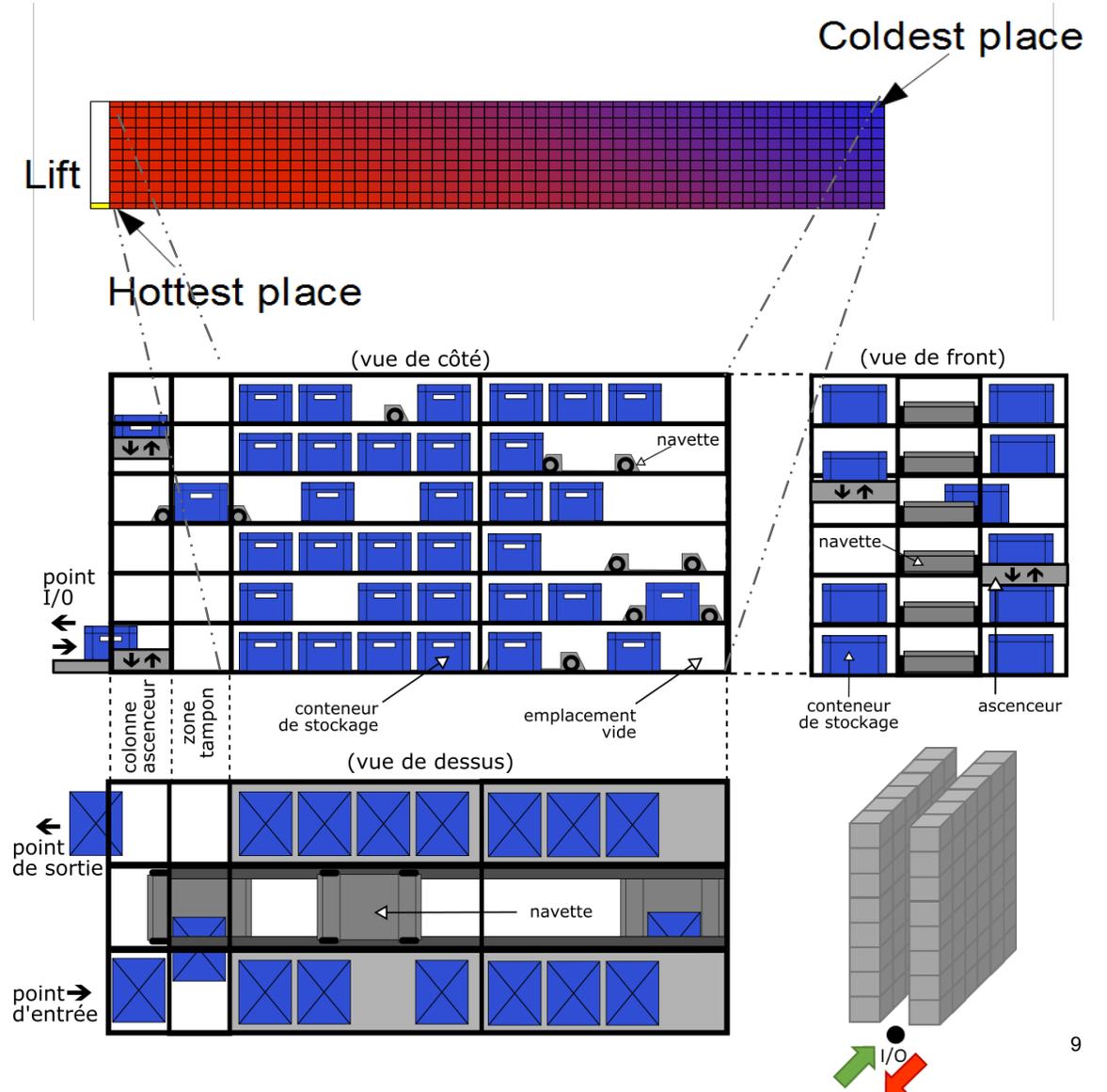


# Problématique industrielle

**Objectif** : le débit des entrées/sorties (bac/heures) doit être le plus élevé possible lors du picking.

**Limitation** : Les places proches de l'ascenseur sont limitées. Plus un bac est « loin » plus le temps de trajet des navettes augmente, plus le débit I/O diminue.

**Problème** : Quelle position (x,y,z) de stockage choisir pour un produit (conteneur) dans le transstockeur ?

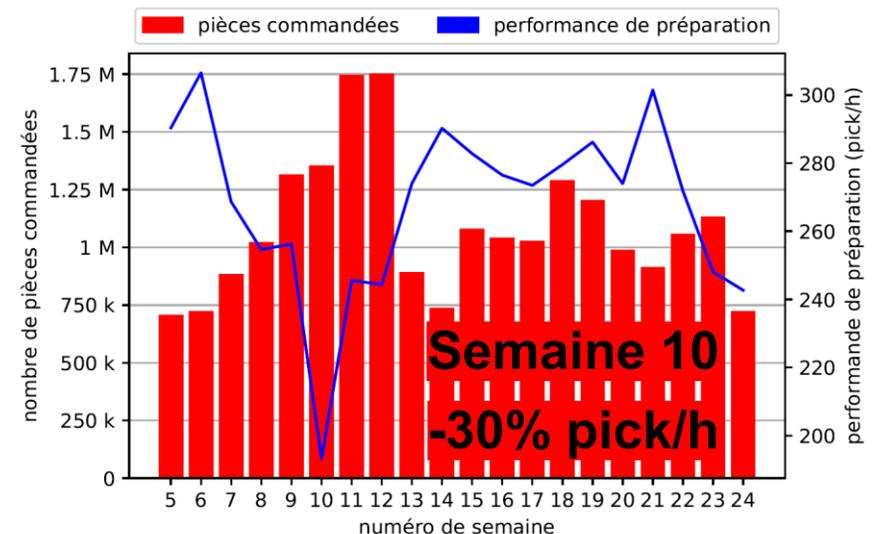
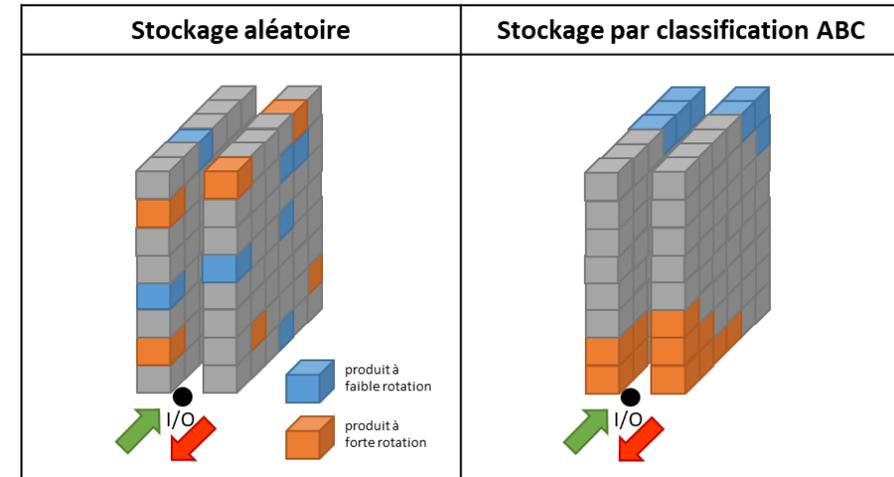


# Problématique industrielle

**Solution industrielle actuelle** : Différentes Stratégies de stockage implémentées:

- *Stockage aléatoire* : produits sont répartis entre allées, niveaux, et emplacements de manière non triée ou séquencée ;
- *Stockage par classification ABC* : les positions de stockage du conteneur en fonction de la fréquence d'usage d'un produit. les produits à forte rotation sont placés au plus près de l'ascenseur (point I/O).
- *Stockage par classification XYZ* : fonction des fluctuations des commandes.
- ...

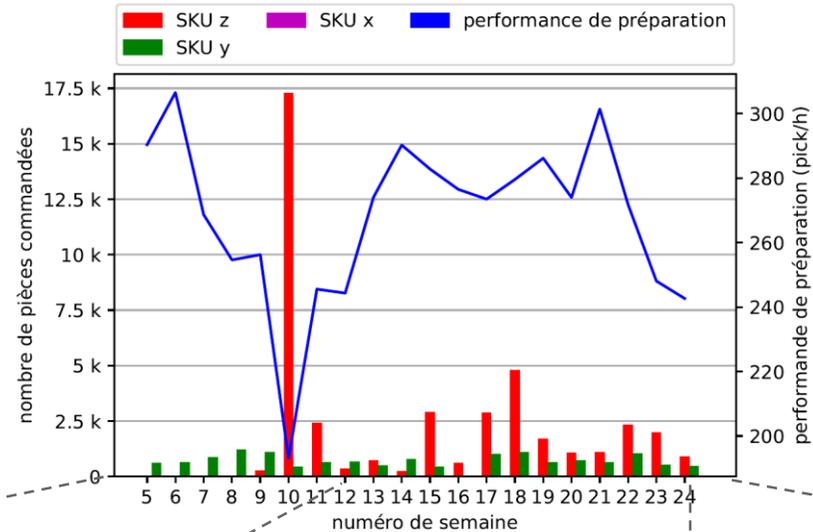
**Constat** : Dans certaines situations (produits saisonniers, ou soldes sur une référence spécifique) malgré les stratégies de stockage on constate des baisses de performance (nombre picks/heures).



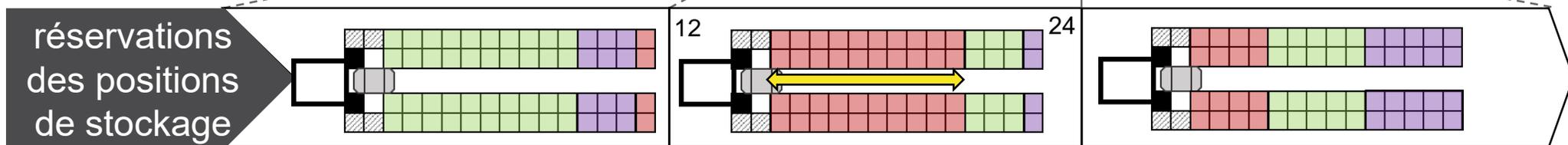
# Problématique industrielle

**Cause:** Variation de demandes des produits.

- X: demande stable, uniforme, et continue (e.g. pharmacie)
- Y: demande fluctue davantage avec les saisons (e.g. textiles)
- Z: demande est sporadique, irrégulière voire anormale. variations peu ou pas prédictibles (e.g. e-commerce)



**Semaine 10**  
**-30% pick/h**



**Objectif :** Minimiser le temps de préparation des commandes :

- Quelle position de stockage choisir pour un produit (conteneur) dans le transstockeur, **tout en s'adaptant aux variations de demande des produits ?**
- s'assurer que les contraintes (masse, position ...) soient respectées



Les navettes parcourent des distances plus importantes car les produits "z" :

- arrivent tardivement en position prioritaire (pas d'anticipation)
- et y restent trop longtemps (allocation pas assez dynamique)

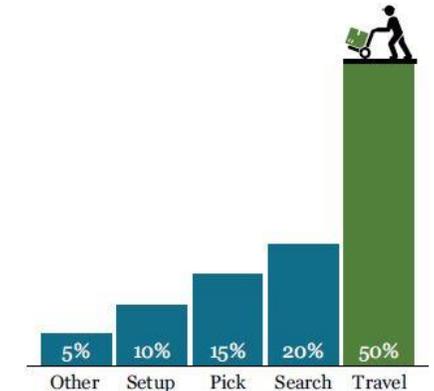
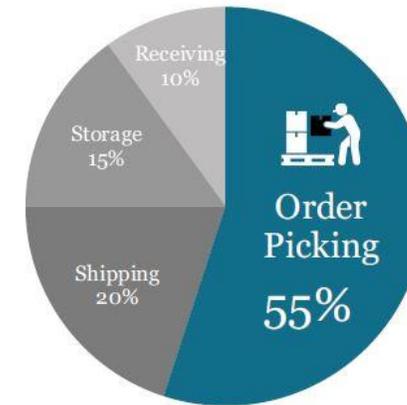
# Solution académique ?

## Est-ce un problème nouveau ?

- Identifié depuis 1976 : *Storage Location Assignment Problem (SLAP)* [1]
- Toujours d'actualité en 2019 [2]

## Comment optimiser un entrepôt automatisé ? [3]

- Picking est responsable de 55% des coûts d'opérations
- dont 50% impacté par la durée de trajet des produits (Travel)



Répartition des coûts opérations logistiques cumulés sur une année dans un entrepôt (gauche) et répartition du temps de chaque tâche sur l'activité de préparation de commandes (order picking - droite) extrait de [3]

[1] Warren Hausman, Leroy Schwarz, and Stephen Graves. Optimal Storage Assignment in Automatic Warehousing Systems. *Management Science*, 22(6),1976

[2] Michael Lingzhi Li, Elliott Wolf, and Daniel Wintz. Duration-of-stay storage assignment under uncertainty, 2019.

[3] Monika Kofler. Optimising the Storage Location Assignment Problem Under Dynamic Conditions. PhD thesis, Johannes Kepler Universität Linz, 2014.

# Sommaire

- Contexte industriel et académique
- **Recherche opérationnelle**
- Apprentissage automatique
- Expérimentation
- Synthèse

# Optimisation sous contraintes

**Formulation** : basée sur le Generalized Assignment Problem (GAP)

**Objectif** : Assigner les produits aux positions de stockage pour minimiser une fonction de coût (1) (distance/temps de trajet des navettes) lors du picking tout en respectant les contraintes métiers et opérationnelles.

**SLAP contraintes usuelles [1]:**

distribution/répartition des produits, emplacements vides, compatibilité inter-produits, date d'expiration, répartition de la masse (peu étudié mais critique)

**Contraintes retenues et exemple de formulation :**

- Un seul produit par position (no stock-splitting) (2);
- Une seule position par produit (no stock-mixing) (3);
- Répartition de la masse sur la longueur (4).

$$\left. \begin{aligned}
 z &= \min \sum_{i \in \mathcal{N}} \sum_{k \in \mathcal{L}} x_{ik} \cdot d_k \cdot p_i & (1) \\
 \sum_{i \in \mathcal{N}} x_{ik} &\leq 1 & \forall k \in \mathcal{L} & (2) \\
 \sum_{k \in \mathcal{L}} x_{ik} &= 1 & \forall i \in \mathcal{N} & (3) \\
 \left| \sum_{i|k \in m_1} w_i x_{ik} - \sum_{i|k \in m_2} w_i x_{ik} \right| &\leq \varepsilon & \forall (m_1, m_2) \in M^2 & (4) \\
 x_{ik} &\in \{0, 1\} & \forall i \in \mathcal{N}, \forall k \in \mathcal{L} &
 \end{aligned} \right\}$$

[1] J. Reyes, E. Solano-Charris, and J. Montoya-Torres. The storage location assignment problem : A literature review. International Journal of Industrial Engineering Computations, 10 :199–224, 2019.

# Contrainte : répartition de la masse

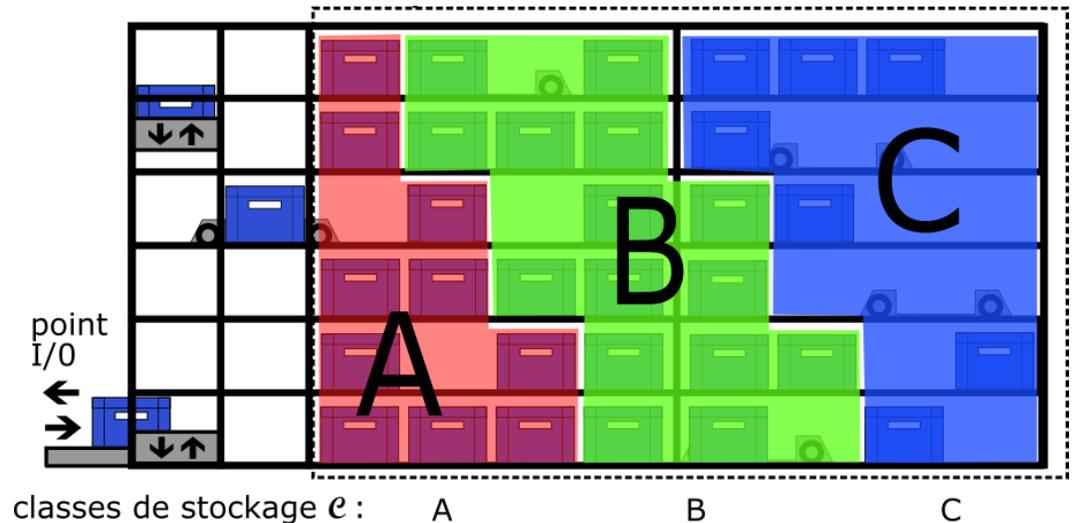
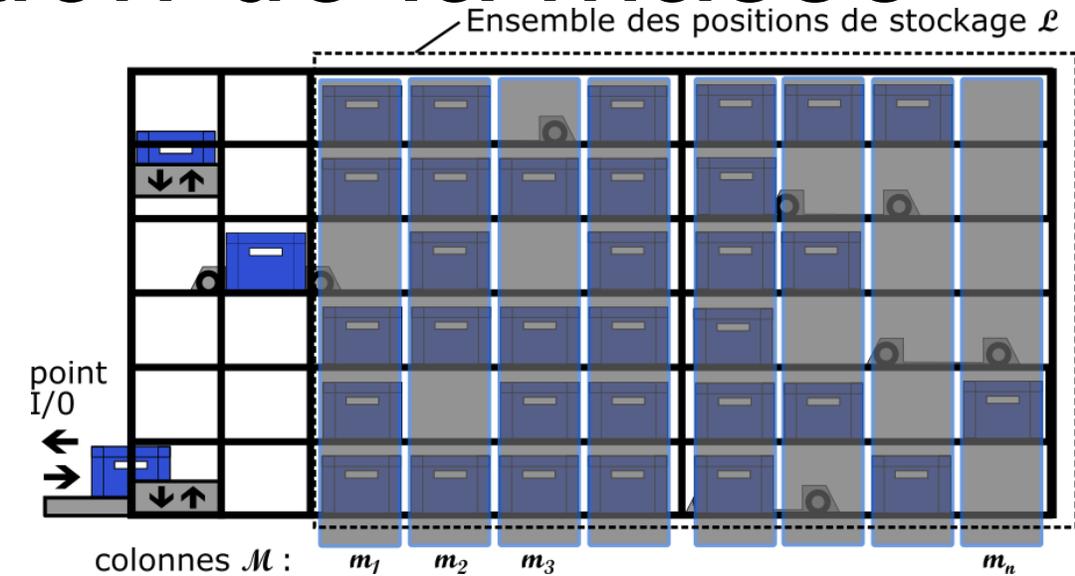
La masse globale des produits doit être répartie sur toute la longueur du rayonnage pour limiter les contraintes mécaniques.

La répartition de la masse s'effectue sur toute la longueur du transtockeur. Elle ne se limite pas à une classe de stockage, elle est donc « transverse ».

$$\left| \sum_{i|k \in m_1} w_i x_{ik} - \sum_{i|k \in m_2} w_i x_{ik} \right| \leq \varepsilon \quad \forall (m_1, m_2) \in M^2$$

$$m_1 \neq m_2 \quad (4)$$

$$x_{ik} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \mathcal{N}, \forall k \in \mathcal{L}$$



# Résolution du SLAP

- Toutes les variables sont discrètes  $x_{ik} \in \{0,1\} \rightarrow$  Problème de type Integer Programming (IP)
- Jeux de donnée de petite taille  $\rightarrow$  méthode exacte : Solveur solution optimale
- Jeux de donnée de grande taille  $\rightarrow$  méthodes heuristique ou métaheuristique
- Problèmes analogues GAP, QAP, ...
  - métaheuristique : genetic algorithm (GA), tabu-search, ...

# Sommaire

- Contexte industriel et académique
- Recherche opérationnelle
- **Apprentissage automatique**
- Expérimentation
- Synthèse

# Apprentissage automatique

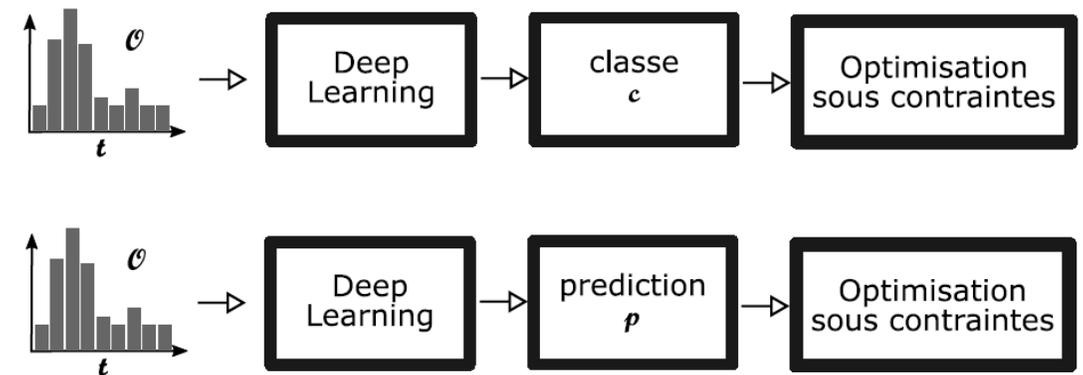
Peu étudié pour résoudre le SLAP.

Exploiter l'historique conséquent des commandes de Knapp

- Prendre en compte la fluctuation de la demande des produits (saisonnalité)
- Détecter la survenue d'évènements rares mais significatifs sur les commandes (pics de commandes soudains et bref)

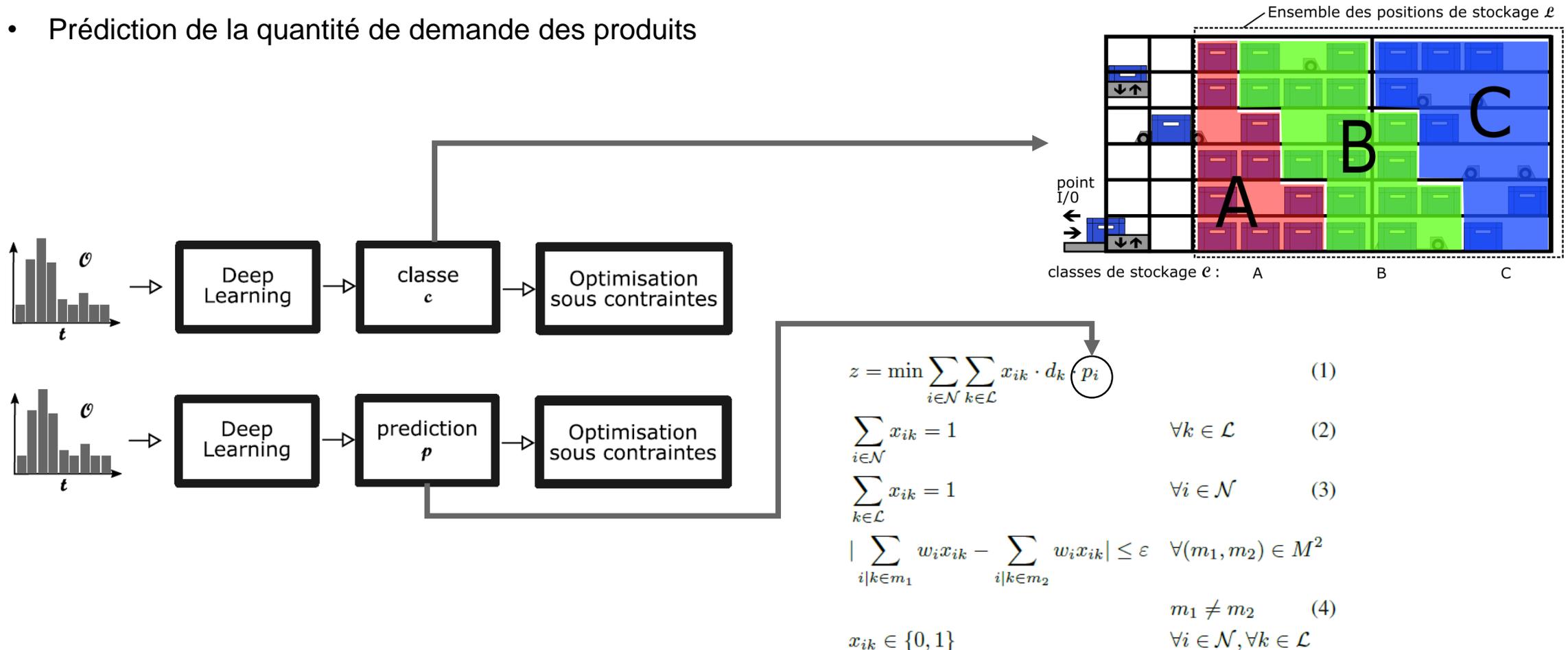
Deux pistes envisageables:

- apprentissage supervisé
- apprentissage par renforcement

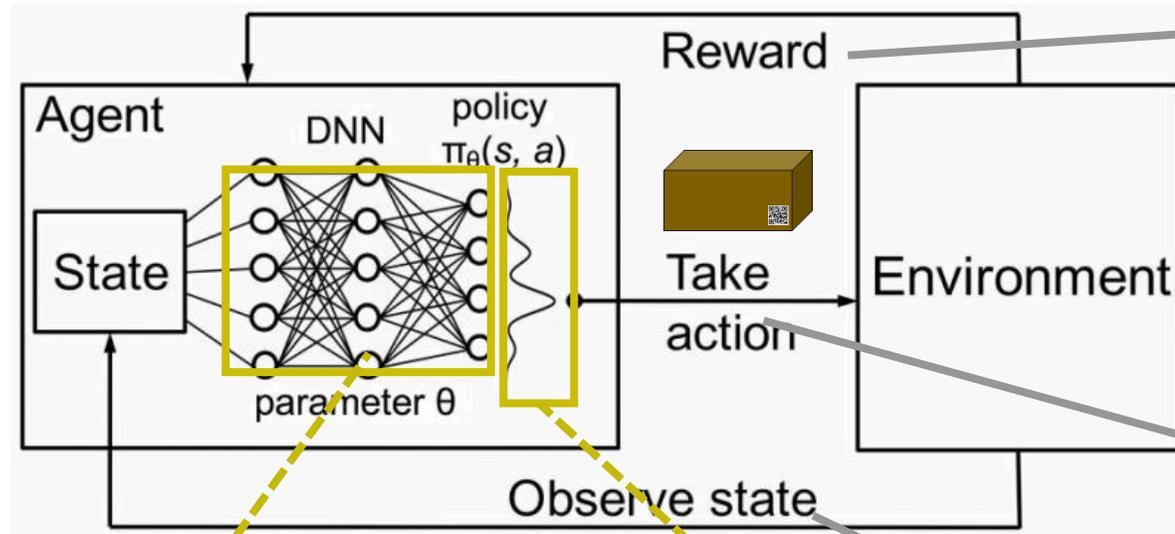


# Apprentissage automatique : supervisé

- Prédiction de la classe de stockage des produits
- Prédiction de la quantité de demande des produits



# Apprentissage automatique : renforcement



**Reward:** Diminution de la distance / temps de trajet des navettes

**Action :**  
 Stocker produit 123 à la position  $(x,y,z)$   
 ou  
 Requalifier la classe de stockage du produit

**State :** occupation des emplacements de stockage

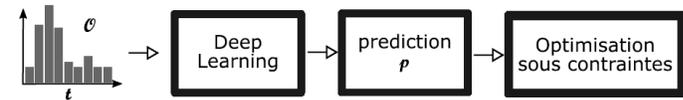
- prédire la quantité de demande
- assigner des classes de stockage aux produits

## Recherche Opérationnelle

- assigner une position de stockage aux produits

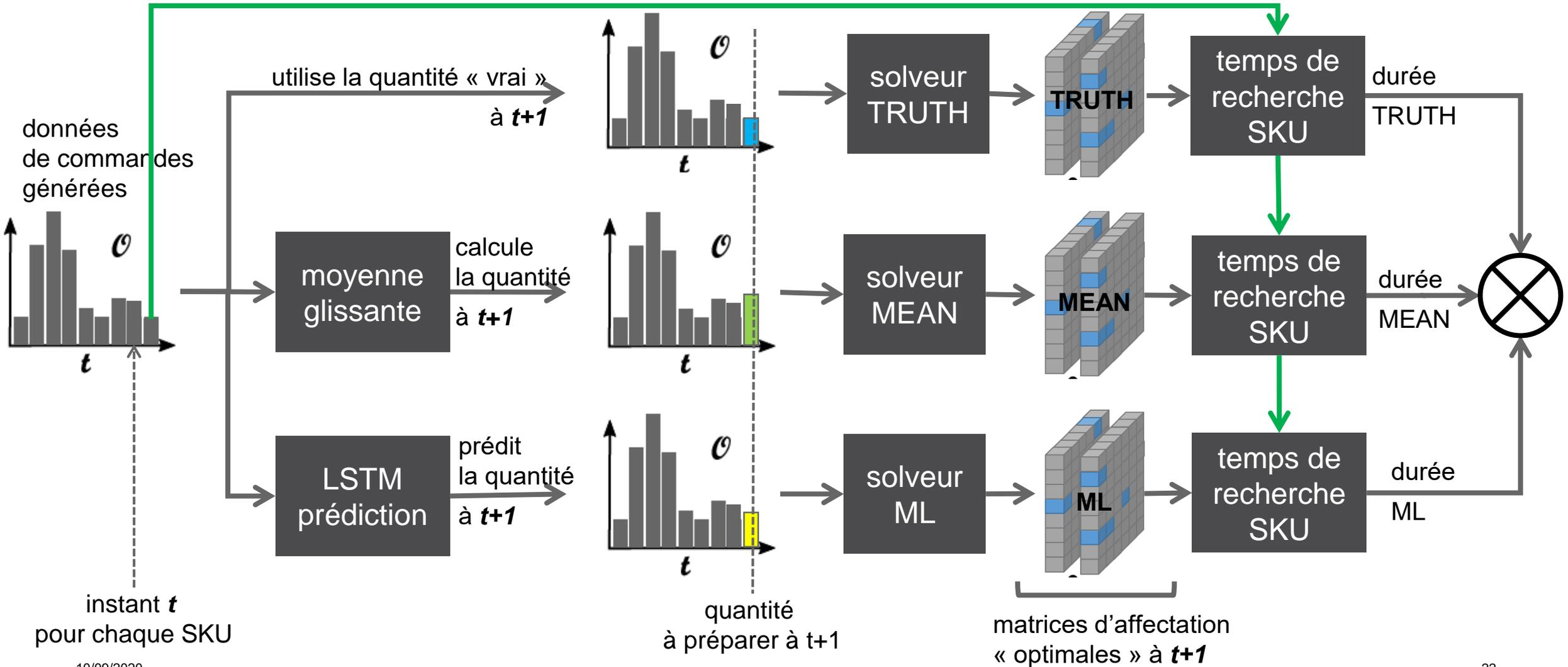
# Sommaire

- Contexte industriel et académique
- Recherche opérationnelle
- Apprentissage automatique
- **Expérimentation**
- Synthèse



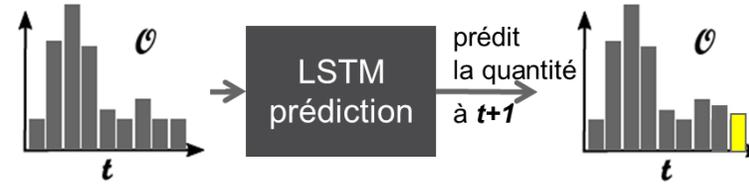
# Expérimentation

quantité « vrai » à préparer à  $t+1$

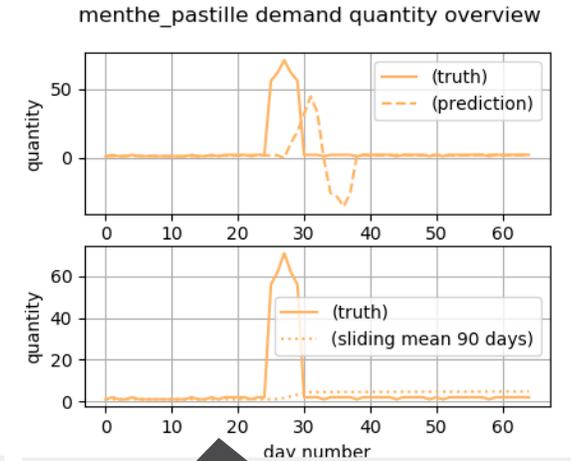
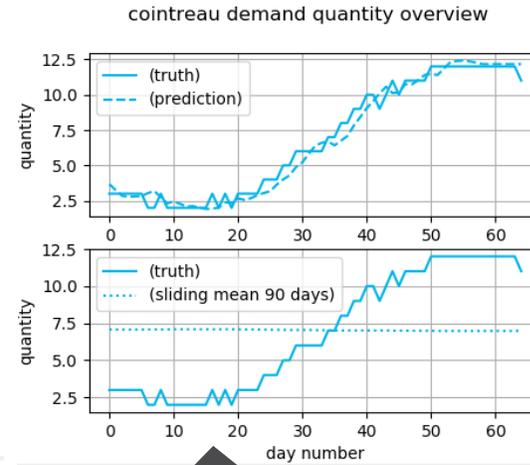
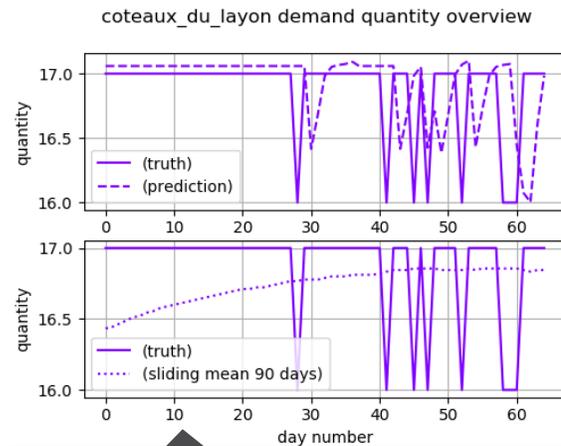
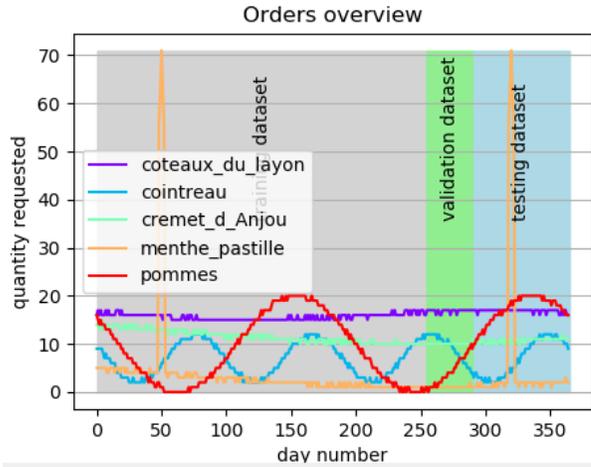


instant  $t$   
pour chaque SKU

# Expérimentation



Prédiction de la quantité de demande par LSTM à partir de données synthétiques



produit à faible variation de demande (classe X)

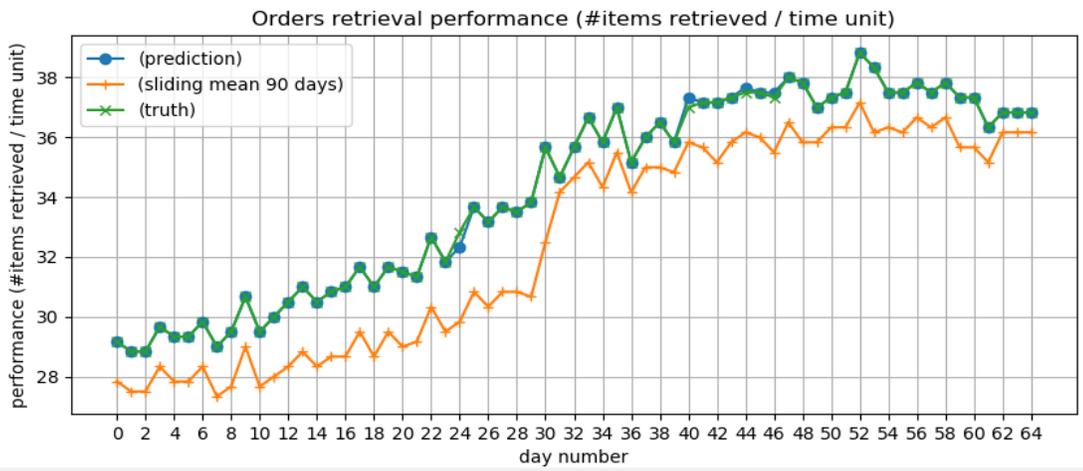
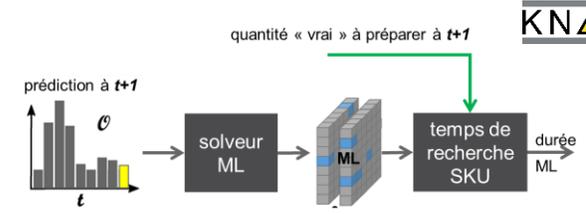
produit à variation saisonnière (classe Y)

produit à demande sporadique (classe Z)

coteaux\_du\_layon  
 coteaux\_du\_layon  
 ...  
 cointreau  
**cointreau**  
 menthe\_pastille  
 menthe\_pastille

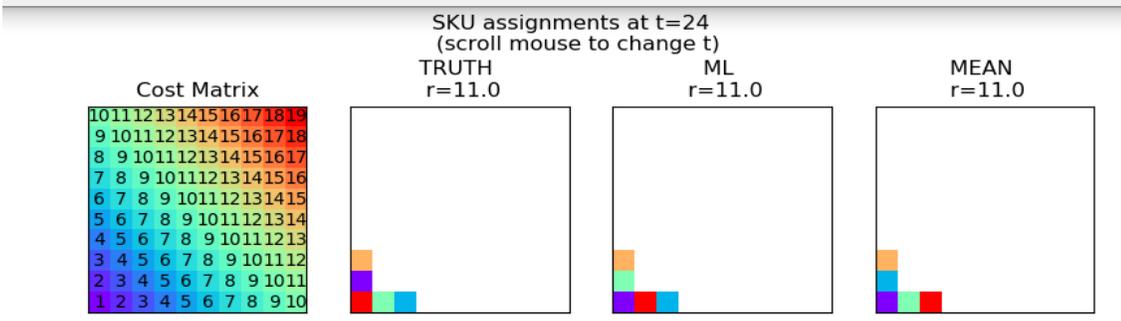
ML	mean_absolute_error (MAE)	= 0.245,	mean_squared_error (MSE)	= 0.170
MEAN	mean_absolute_error (MAE)	= 0.342,	mean_squared_error (MSE)	= 0.165
...	...	...	...	...
ML	mean_absolute_error (MAE)	= 0.473,	mean_squared_error (MSE)	= 0.345
<b>MEAN</b>	<b>mean_absolute_error (MAE)</b>	<b>= 3.719,</b>	<b>mean_squared_error (MSE)</b>	<b>= 16.023</b>
ML	mean_absolute_error (MAE)	= 0.371,	mean_squared_error (MSE)	= 0.241
MEAN	mean_absolute_error (MAE)	= 0.424,	mean_squared_error (MSE)	= 0.322

# Un gain de performances ?



TRUTH performance cumulated=2453.333 (#items / time unit), mean=7.549, std=8.76  
 MEAN performance cumulated=2228.167 (#items / time unit), mean=6.856, std=6.04  
 ML performance cumulated=2355.070 (#items / time unit), mean=7.246, std=7.49

Affectation des produits grâce à une quantité prédite par LSTM améliore la performance de récupération des SKU par rapport MEAN. (~5% dans notre cas)



```
poc.py [C:\Users\courtin\AppData\Local\Continuum\anaconda3\envs\tensorflow-v2\python.exe]
```

Compare ML and MEAN with each over(performances)  
 ML performances are 1.06 time better than MEAN . difference: 126.90 more items for all time unit handled. 5.39% better.

# Sommaire

- Contexte industriel et académique
- Recherche opérationnelle
- Apprentissage automatique
- **Synthèse**

# Synthèse

- Objectif : Optimisation performance d'un entrepôt avec transstockeur = réduction distance/temps de trajet des navettes
- SLAP problème NP-difficile
- Notre approche : Implémenter une chaine algorithmique
  - Recherche Opérationnelle : optimisation sous contraintes
  - Apprentissage automatique 2 stratégies :
    - apprentissage supervisé
    - apprentissage par renforcement

# Vielen Danke

Thank you.

Merci beaucoup.

Muchas gracias.

Mille grazie.

# Mentions

Présentation soutenus le jeudi 10 septembre 202.

## RO&IA 2020

L'Association Française pour l'Intelligence Artificielle (AFIA) et la Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision (ROADEF) organisent la cinquième journée RECHERCHE OPERATIONNELLE et INTELLIGENCE ARTIFICIELLE le Jeudi 10 Septembre 2020 en virtualisé.

L'objectif de ces journées est de rassembler les communautés de l'IA et de la RO et d'échanger autour de problématiques, de techniques et de concepts communs. Ainsi, la journée se focalisera cette année sur l'enrichissement mutuel dans le domaine de la LOGISTIQUE et de l'ORDONNANCEMENT.

Date : 10 Septembre 2020

Lieu/Outil : Outil Teams

## Programme

Voici le [lien Teams](#) pour assister à la session du matin.

**9h00** Ouverture de François Clautiaux (*Président de la ROADEF*) et Yves Demazeau (*Président de l'AFIA*). Introduction par Zacharie Alès (*ROADEF*) et Emmanuel Adam (*AFIA*).

### Session 1

**9h30** « Optimisation des décisions de planification avec coopération entre agents asymétriques et données incertaines » par *Siao-Leu PHOURATSALAY (INRIA, IMB, Bordeaux)*

**10h00** « Planification contingente à l'aide de contre-exemples sur des plans déterministes » par *Sebastien PIEDADE (Onera – Toulouse)*

**10h30** Pause "café" : [Lien Teams](#)

**11h00** « Approche décentralisée d'insertion avec amélioration continue de la qualité de la solution pour un système de transport à la demande » par *Alaa DAOUD (Ecole des Mines de Saint Etienne)*

**11h30** Pause Déjeuner/ Discussion : [Lien Teams](#)

Voici le [lien Teams](#) pour assister à la session de l'après-midi.

### Session 2

**13h30** « Single machine scheduling » par *Frederico DELLA CROCE (Politecnico di Torino)*

**14h00** « Problème d'affectation dynamique des emplacements de stockage chez Knapp » par *Paul COURTIN (Knapp – Angers)*

**14h30** [Discussion](#)

**15h30** [Clôture](#)