

Planification et gestion des flux de déchets issus du démantèlement d'installations nucléaires



Anne-Laure Ladier, Samuel Vercaene, Vincent Cheutet

Université de Lyon, INSA Lyon, DISP

Rémi Dachicourt, Giannina Dottavio

Altran Research, Aix-en-Provence

ALTRAN

INSA INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
LYON

Université Claude Bernard  Lyon 1

UNIVERSITÉ
LUMIÈRE
LYON 2

Membre de
UNIVERSITÉ DE LYON 

Contexte de
l'étude

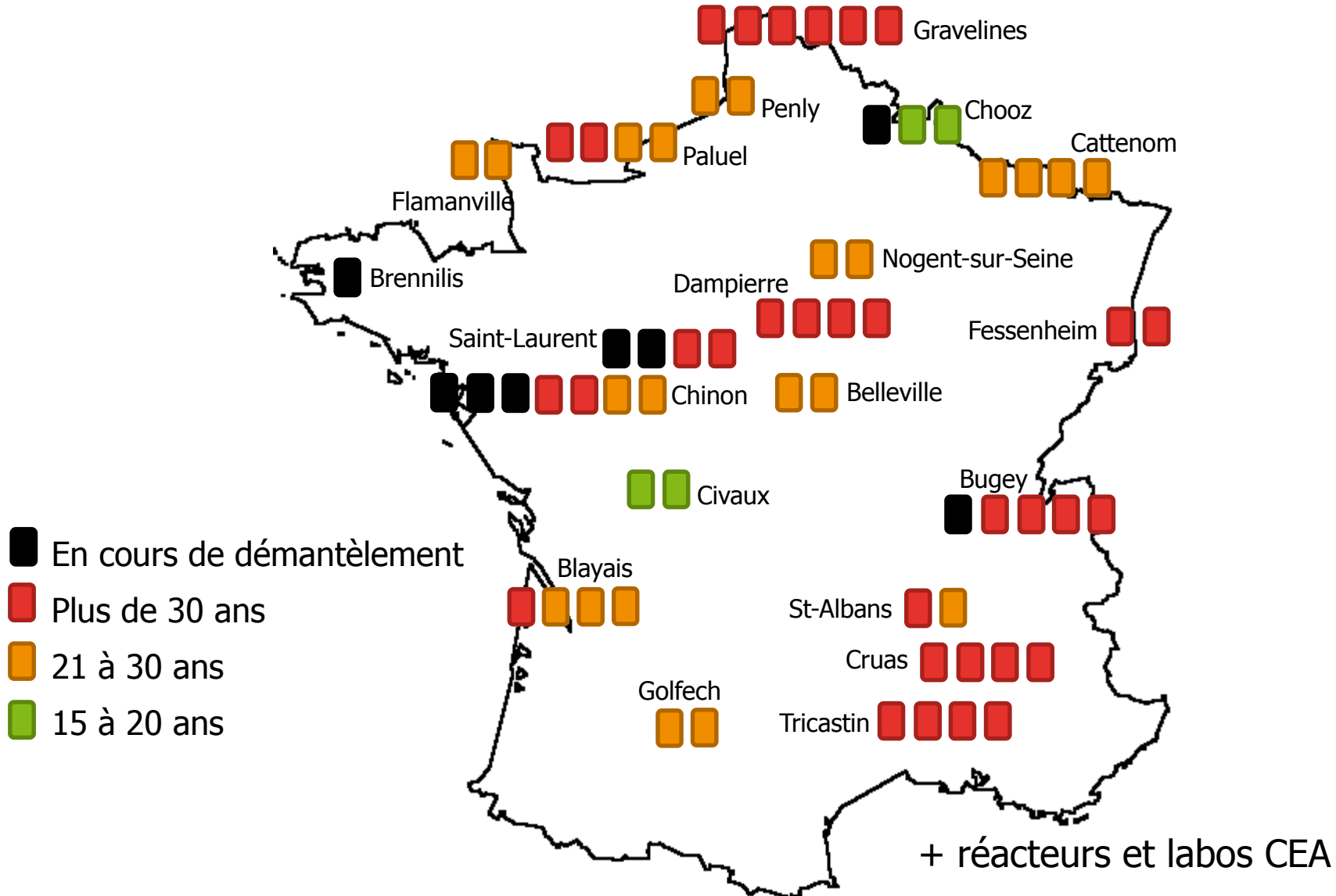
Problème de
planification

Vers le problème
stochastique

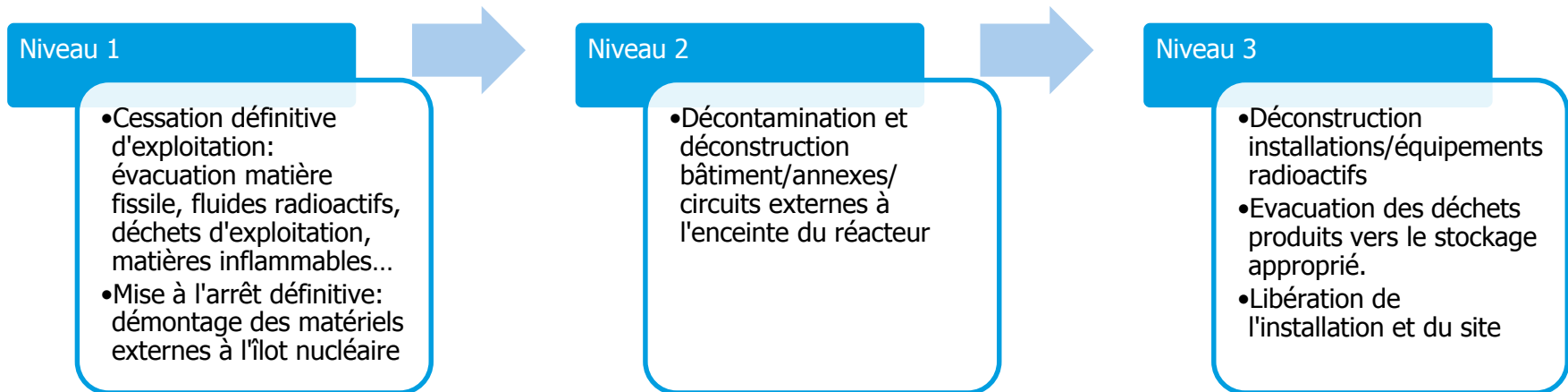
CONTEXTE

Démantèlement d'installations nucléaires

Réacteurs nucléaires en France



Démantèlement



Source: Agence internationale de l'énergie atomique

Contraintes « métier » de planification

- Horizon très long
 - Chinon: 1990-2027
- Dimensionnement
 - Les installations de traitement/d'entreposage construites pour le démantèlement seront aussi démantelées!
- Précédences liée au processus de démontage
 - Autorisation de l'Andra pour expédier vers l'exutoire
- Entreposage* limité par des contraintes de sécurité
 - Goulot
- Transport coûteux
- Main d'œuvre spécialisée dans les interventions en milieu radioactif, coûteuse

* Entreposage ≠ stockage

Contexte du travail

- Etudes préliminaires à un projet d'environ 4 ans
 - Pas de travaux en RO/nucléaire dans la littérature
 - Expliciter le problème, les contraintes métiers
 - Liens avec les problèmes de production/logistique connus
 - Identifier des sous-problèmes à traiter par programmation mathématique, les modéliser et les résoudre
- Objectifs du projet: outil d'aide à la décision
 - Destiné aux grands donneurs d'ordre du nucléaire
 - Dimensionnement, planification avant travaux
 - Pilotage et gestion des opérations, replanification en temps réel

Contexte de
l'étude

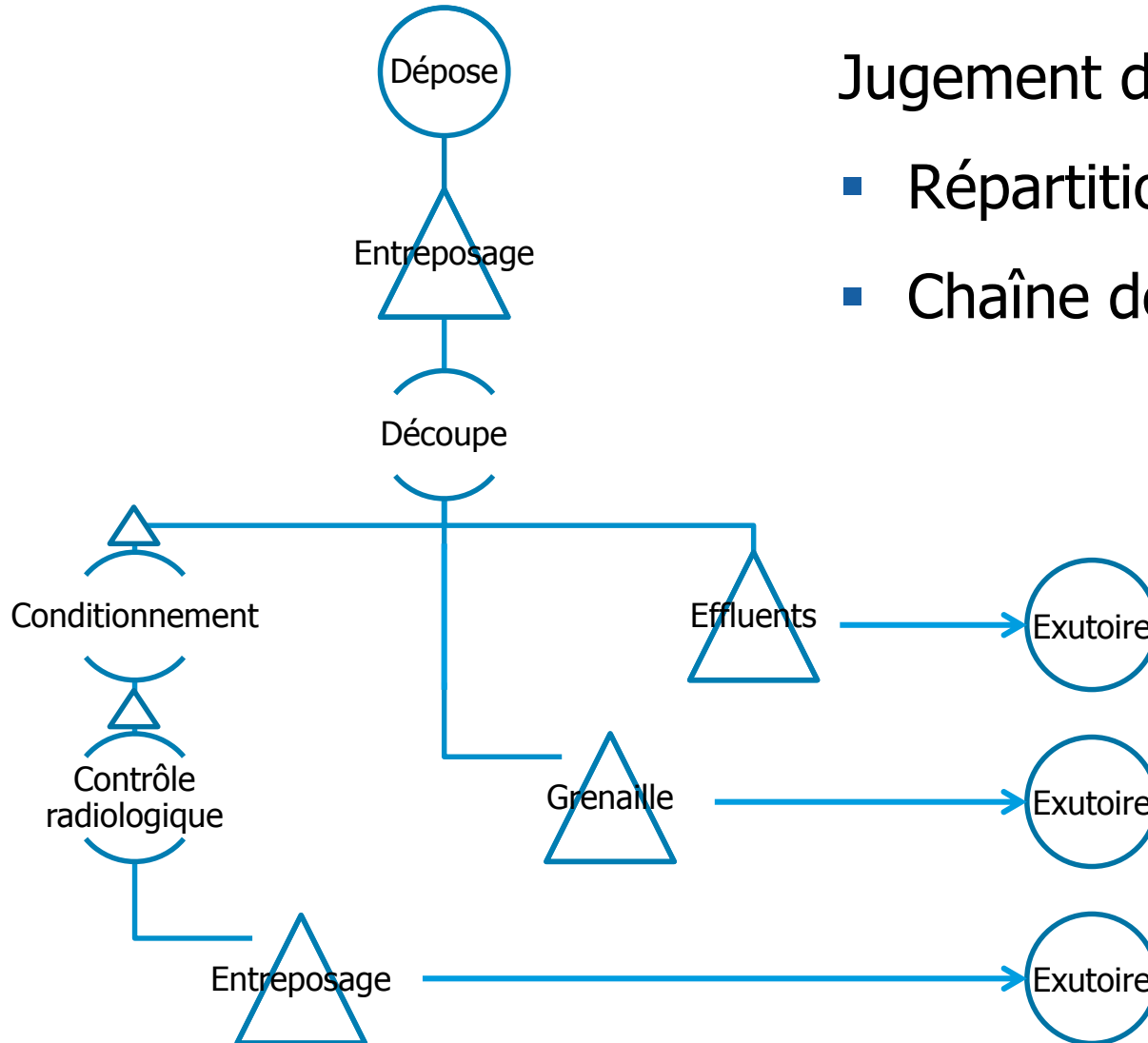
Problème de
planification

Vers le problème
stochastique

Etude d'un sous-problème

DIMENSIONNEMENT ET PLANIFICATION

Exemple de chaîne de traitement



Jugement d'expert :

- Répartition en lots
- Chaîne de traitement

Schéma simplifié

Données d'entrées

- Liste des ressources
 - Unités de traitement
 - Unités d'entreposage
 - Moyens de transport

} Coûts associés
- Caractéristiques de chaque ressource:
 - Capacité du poste, en fonction du type de déchets traité
 - Cadences : kg/unité de temps/équipe
 - Nombre maximum d'équipes
- Pour chaque lot de déchet :
 - Volume, catégorie
 - Date de dépose (release date) ou précédences (lot à déposer avant)
 - Date d'agrément Andra

Décisions à prendre

- A quelle date commencer chaque opération?
 - Date de début de chaque opération
 - Capacité de l'unité et capacité de stockage limités
- Combien d'équipes affecter à chaque unité de traitement?
 - Durée de chaque opération

Multi-mode resource-constrained project scheduling

P. Brucker, A. Drexler, R. Möhring, K. Neumann, and E. Pesch, "Resource-constrained project scheduling: Notation, classification, models, and methods," *EJOR*, 112(1), 1999.

Fonction objectif

- Minimiser le coût total
 - Coût de stockage
 - Coût d'utilisation des équipes
 - Coût fixe de transport
- Mais ne pas mettre trop de temps...
 - Deadline + pénalité par unité de temps supplémentaire

Time-cost tradeoff multi-mode resource-constrained project scheduling

P. Brucker, A. Drexl, R. Möhring, K. Neumann, and E. Pesch, "Resource-constrained project scheduling: Notation, classification, models, and methods," *EJOR*, 112(1), 1999.

Modélisation (1)

Sprecher 1996: ~~Time-cost tradeoff~~ multi-mode resource-constrained project scheduling

A. Sprecher and A. Drexler, "Solving Multi-Mode Resource-Constrained Project Scheduling Problems by a Simple, General and Powerful Sequencing Algorithm. Part I: Theory," 1996.

■ Données

- J opérations, T périodes, R ressources
- M_j modes d'exécution possibles pour j
- d_{jm} durée de l'opération j en mode m

■ Variables

- $X_{jmt} = 1$ si l'opération j est exécutée en mode m et se termine à la fin de la période t

Modélisation (2)

Sprecher 1996

Min makespan

1 mode et 1 date de fin par opération

Contrainte de précédence

Ressources renouvelables

Ressources non-renouvelables

Notre modèle

Min coût total

1 mode et 1 date de fin par opération

Contrainte de précédence

Stock limité entre les opérations
(ressource renouvelable)

Makespan = deadline + dépassement

Remarques sur la taille des ensembles

- Maximum 3 modes (3 équipes en 3×8)
 - Temps discret = problématique sur de très longs horizons!
 - Calculer d'abord les dates au plus tôt (mode le plus court) et au plus tard (mode le plus long) pour limiter l'espace de définition de chaque variable
 - Erenguc (2001), **time-cost tradeoff multi-mode resource-constrained project scheduling** sans discrétiser le temps
 - Modèle quadratique + ensembles non explicites
 - Algorithme de branch&bound dédié pour résolution exacte
- S. S. Erenguc, T. Ahn, and D. G. Conway, "The resource constrained project scheduling problem with multiple crashable modes: An exact solution method," *Nav. Res. Logist.*, 48(2), 2001.

Résultats & perspectives pour ce modèle

- Modèle validé sur des instances « jouet »
- Passage à l'échelle:
 - Programmation dynamique
 - Branch&bound dédié (Erenguc 2001)
- Perspectives
 - Problème de dimensionnement: le nombre de ressources peut devenir une variable de décision

Contexte de
l'étude

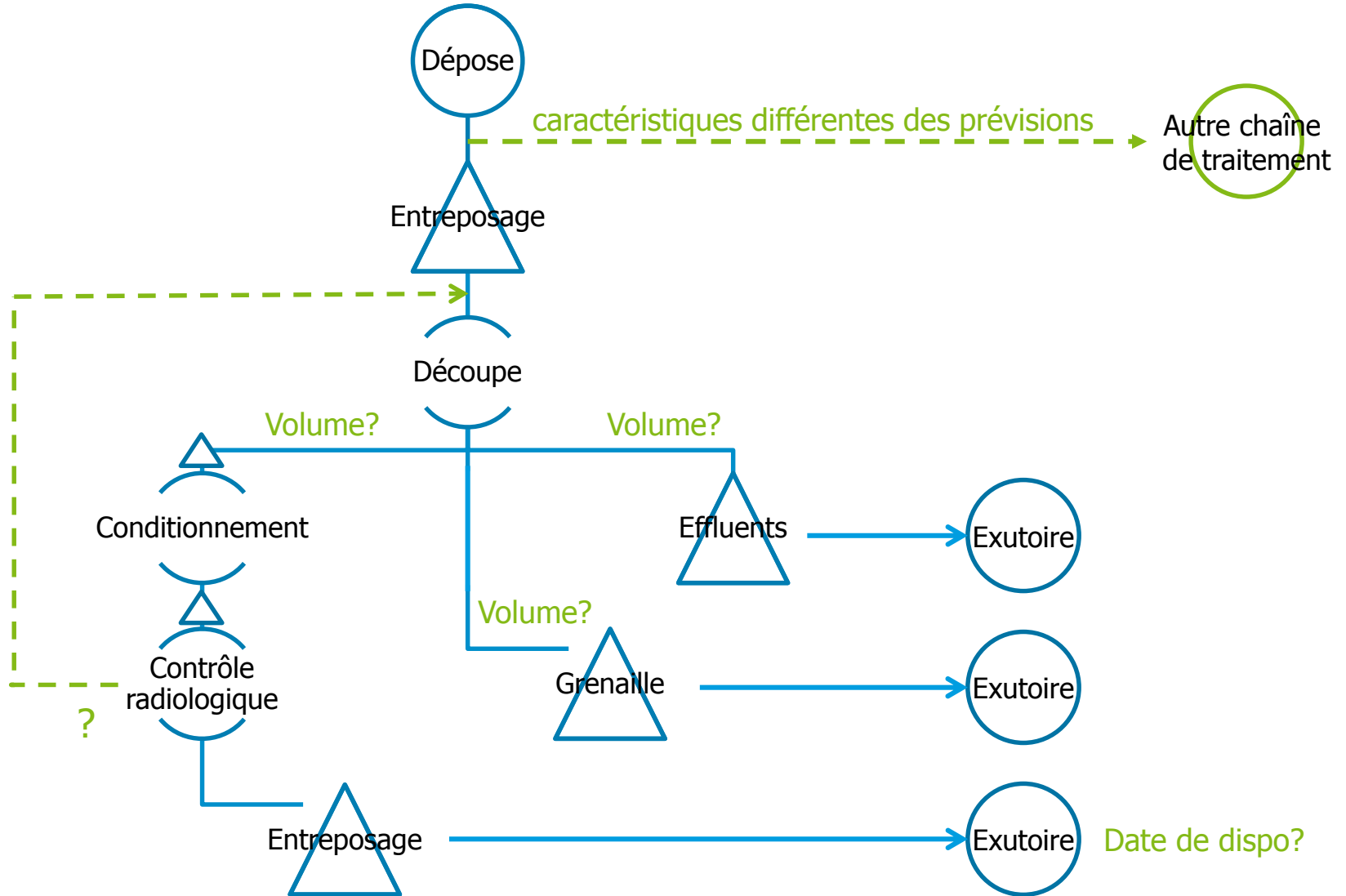
Problème de
planification

Vers le problème
stochastique

PRISE EN COMPTE DES INCERTITUDES

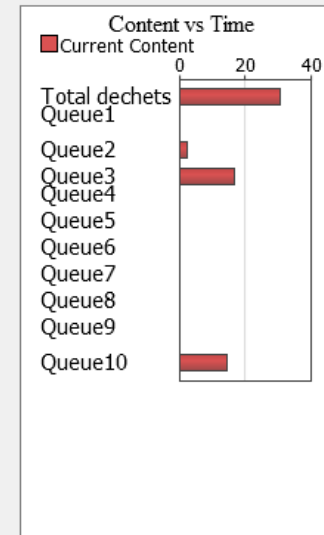
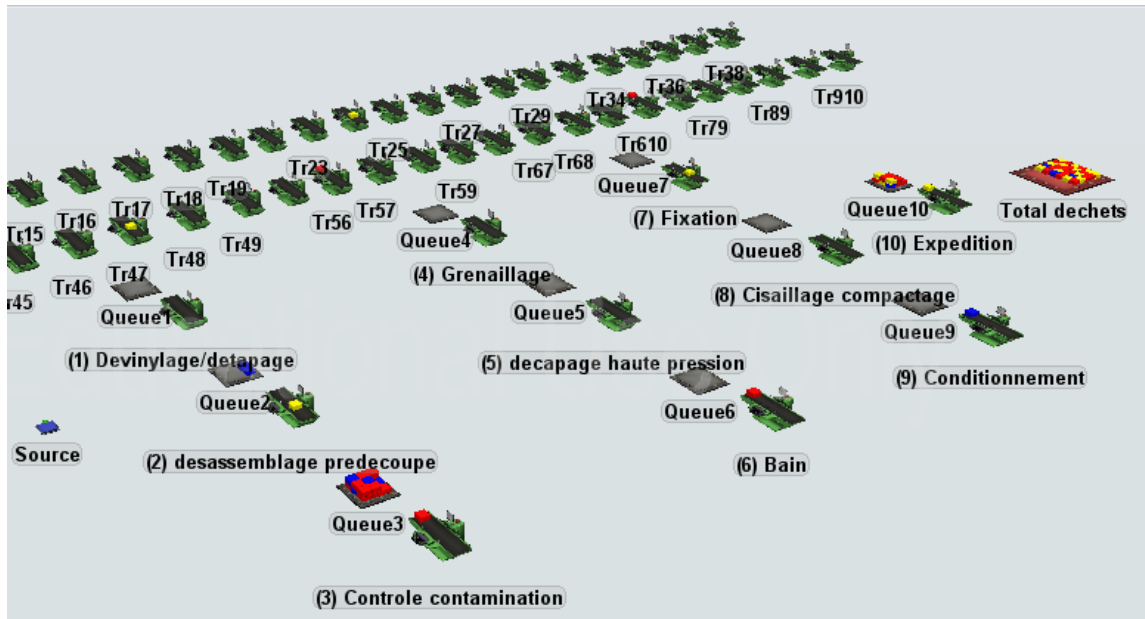
Préparation de l'étude du problème stochastique

Exemple de chaîne de traitement



Simulation de la chaîne de traitement

■ Simulation à événements discrets (FlexSim)



Contenu des Queues	Current Content
Total dechets	30.0
Queue1	0.0
Queue2	2.0
Queue3	16.0
Queue4	0.0
Queue5	0.0
Queue6	0.0
Queue7	0.0
Queue8	0.0
Queue9	0.0
Queue10	14.0

Objectifs de la simulation

- Évaluer la robustesse des plannings obtenus par programmation mathématique
- Présenter le planning « en action » sous une forme immédiatement compréhensible par les experts métier
- Calculer les indicateurs de performance pertinents pour les planificateurs
 - Niveau d'entreposage
 - utilisation de consommables
 - quantité de déchets produit
- Aide à la décision pour la replanification « temps réel »

- Articulation optimisation + simulation pour traiter l'incertitude
- Champ d'application original
 - Prise en compte des contraintes métiers spécifiques
 - Ordres de grandeur temps/argent
- Etude préliminaire pour un projet plus vaste
 - Très nombreuses perspectives!



Merci pour votre attention



UNIVERSITÉ
LUMIÈRE
LYON 2

