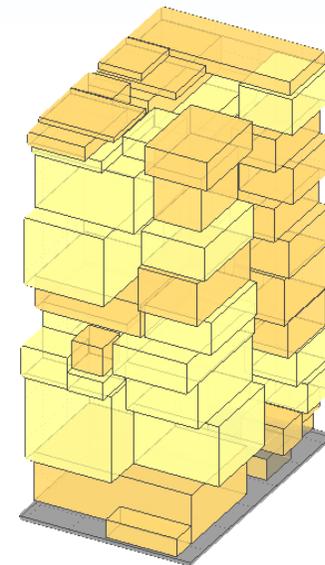


Mise au point d'algorithmes de palettisation 3D hétérogène en ligne



LMCS 2014

Auteur : Gilles GONON, Acsystème



Plan

Mise au point de l'algorithme

- **Présentation du problème**
- **Approches choisies**

Implémentation

- **Simulation / Production**

Applications

Conclusions





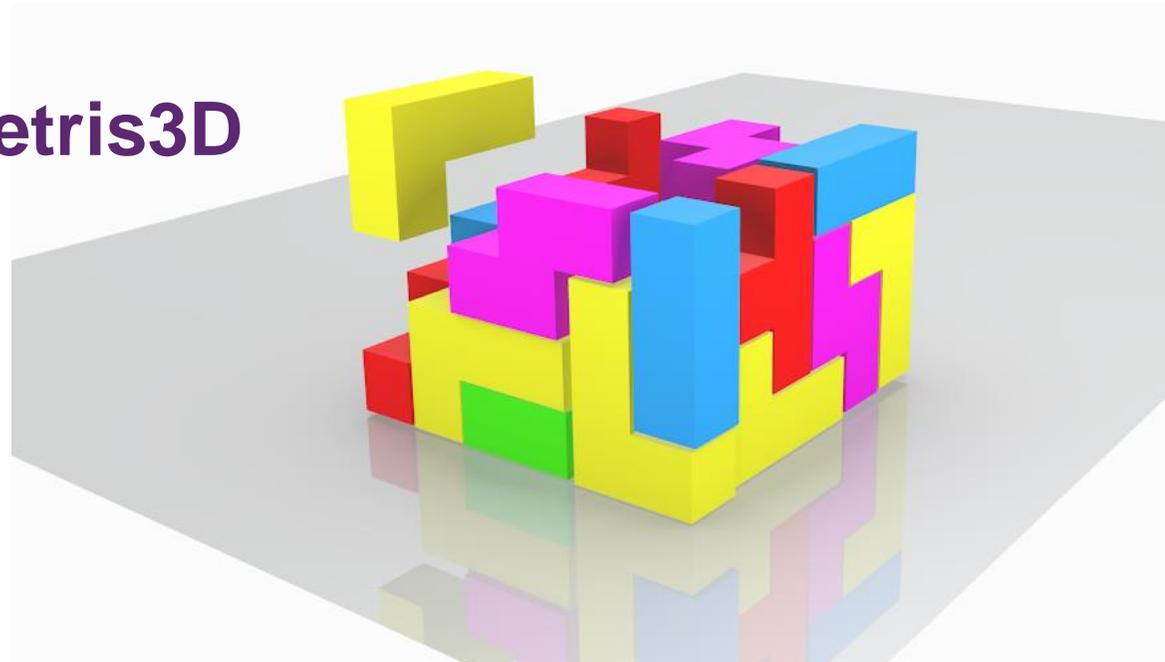
Un problème, plusieurs solutions

MISE AU POINT DE L'ALGORITHME

Objectif

- Réaliser un empilage 3D **stable** de colis rectangulaires de tailles **hétérogènes** et **aléatoires**
- L'intégralité des colis à empiler n'est pas connu à l'avance : **en ligne**

Nom de code : Tetris3D



Problème de type bin packing (3D)

« trouver le rangement le plus économique possible pour un ensemble d'articles dans des boîtes »

→ Problème **NP-complet** : trop de solution possibles pour les tester dans un temps raisonnable

→ Exemples :

1D/2D : découpe, stockage informatique, ...

3D : chargement, architecture composant,

Deux problèmes différents à résoudre

1. Optimiser le placement des pièces

- Trouver des points possibles où mettre les pièces
- Choisir la **meilleure** position

→ Problème combinatoire

2. Garantir la **stabilité**

- Sans mettre de ficelles !

→ Problème physique



Contraintes

- Temps de cycle (quelques secondes)
- Stabilité
- Visibilité limitée sur les colis
- Mouvement du bras robotisé

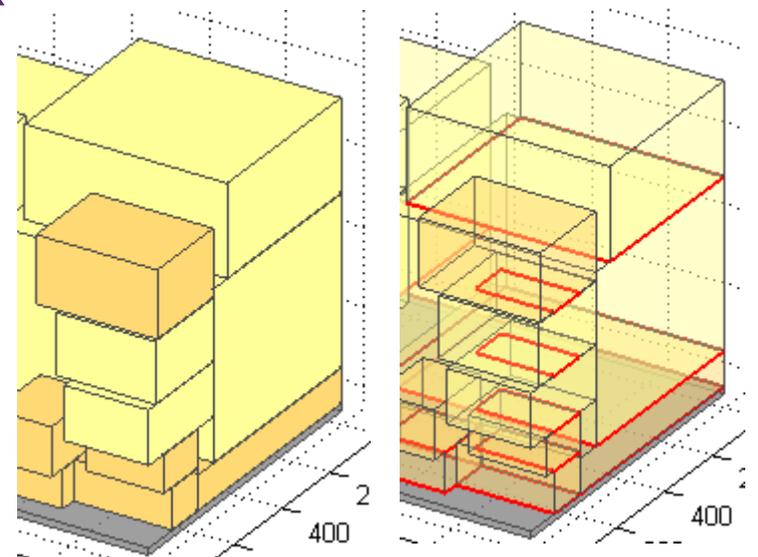
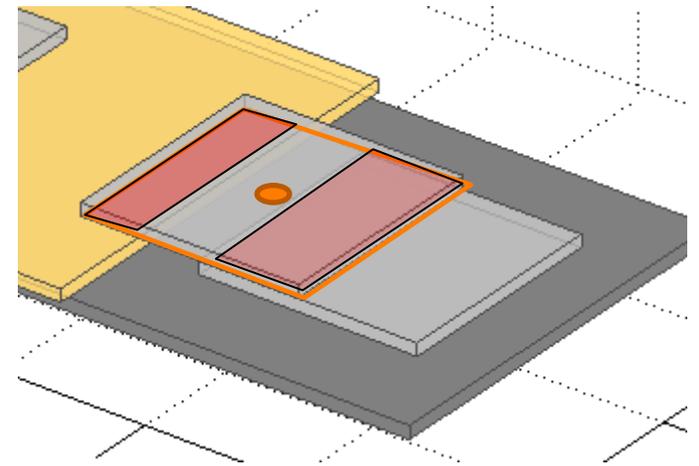
***"Les contraintes offrent
un cadre à la liberté "***

Calcul approché physique

- Notion du **polygone d'appui** englobant
- Le **centre de gravité** doit être à l'intérieur du polygone
- Réglage de la tolérance aux bords

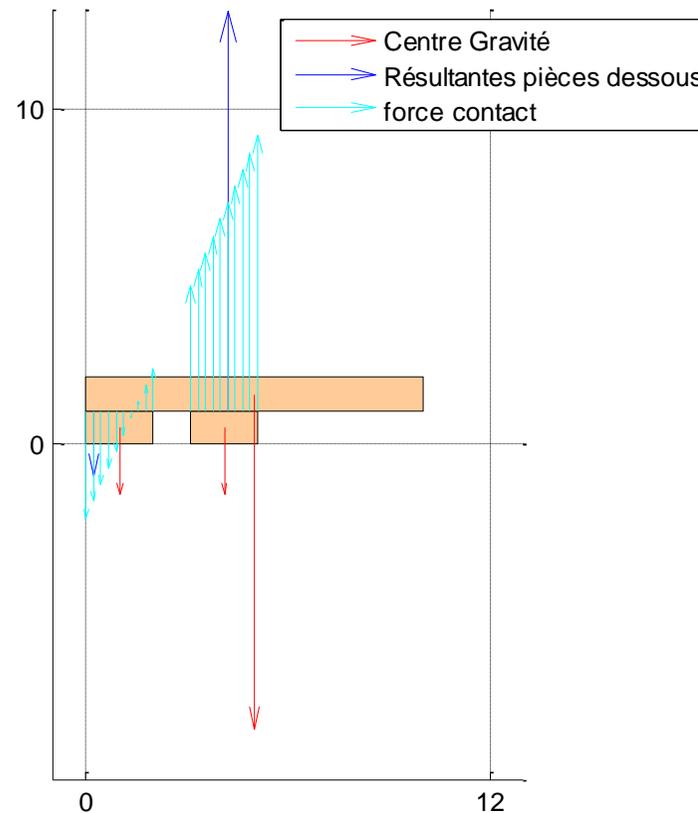
Propagation du polygone d'appui min

- Calcul plutôt pessimiste



Moteur de rendu physique (solveur d'équilibre)

- Permet de valider une solution
- Ne permet pas de tester un grand nombre de combinaisons
- Calcul appliqué a posteriori pour valider la stabilité



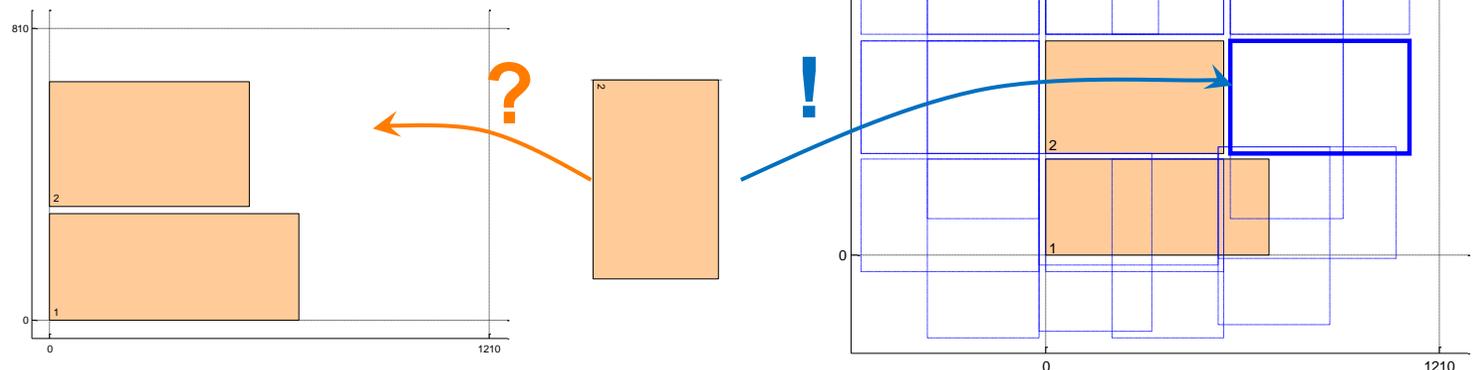
Approches choisies

Mise au point

Approche combinatoire en 2D

→ Optimisation du remplissage de « couches »

- Idéal si les colis ont la même hauteur
- Test des cas d'arrangement possibles des pièces visibles
- Génération d'un graphe de combinaisons (+ timeout)
- Tri et sélection des meilleures
- Validation de stabilité



Approches choisies

Mise au point

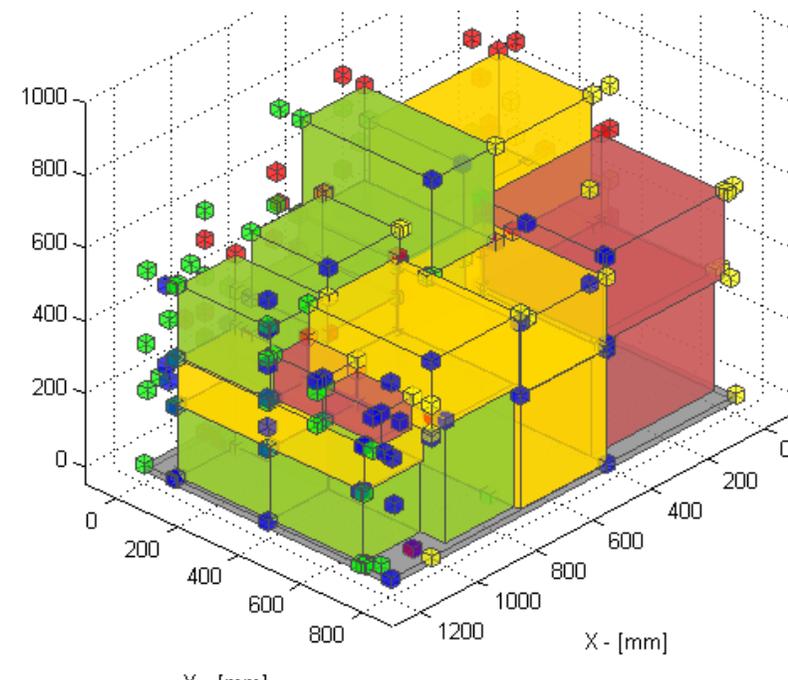
Approche constructiviste en 3D

→ Construction pièce par pièce en plaçant la meilleure pièce au meilleur endroit

- Définition et mise à jour de points de placement possibles
- Test de l'ensemble des pièces visibles sur l'ensemble des positions
- Vérification des contraintes
- Comment choisir la meilleure ?

→ Définition d'une fonction de score ou **fonction de mérite**

→ Agrégation de critères de « bon sens »



Approches choisies

Mise au point

Critères de « bon sens » = **heuristiques**

→ pour chaque nouvelle pièce

- Alignement en longueur/largeur/hauteur avec les autres pièces
- Chevauchement de plusieurs pièces inférieures
- Compacité globale et locale (contact entre les pièces)
- ...

Ajout itératif de critères

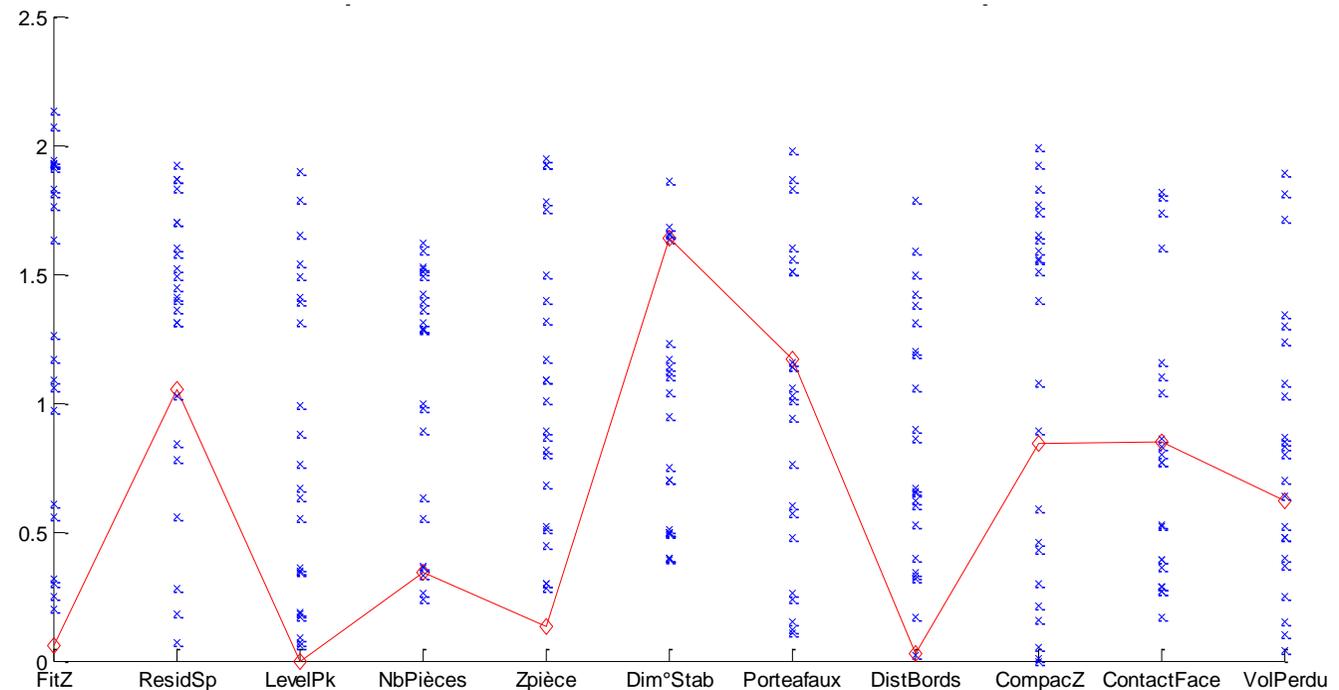
- Permet de maîtriser l'impact d'un critère sur la solution d'empilage

Combinaison des critères → fonction de mérite

- Somme pondérée des critères, pondération par la hauteur, ...

Optimisation de la fonction de mérite

- Permet d'adapter la pondération à une typologie de colis
- Utilisation des algorithmes génétiques





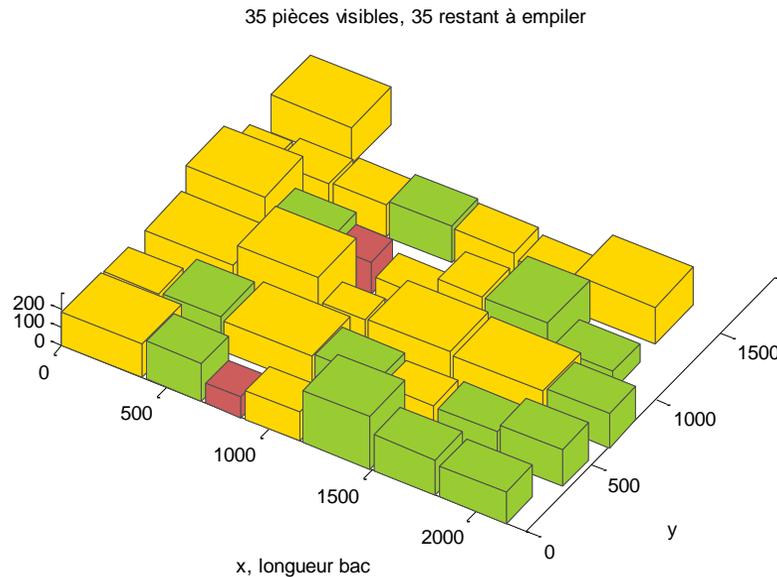
De la simulation à la production

IMPLÉMENTATION

Un seul environnement pour

- **Réalisation d'un simulateur**
 - Étude et réglage des principaux paramètres
 - Mode batch pour analyse de sensibilité
 - Appel des fonctions d'empilage compilées
- **Compilation d'une DLL**
 - Intégrée dans l'environnement de production
 - DLL appelée par la supervision
 - Exécution parallélisée
- **Le tout sous Matlab**
 - Utilisation du compiler
 - Déploiement avec le MCR
 - Visualisations avancées

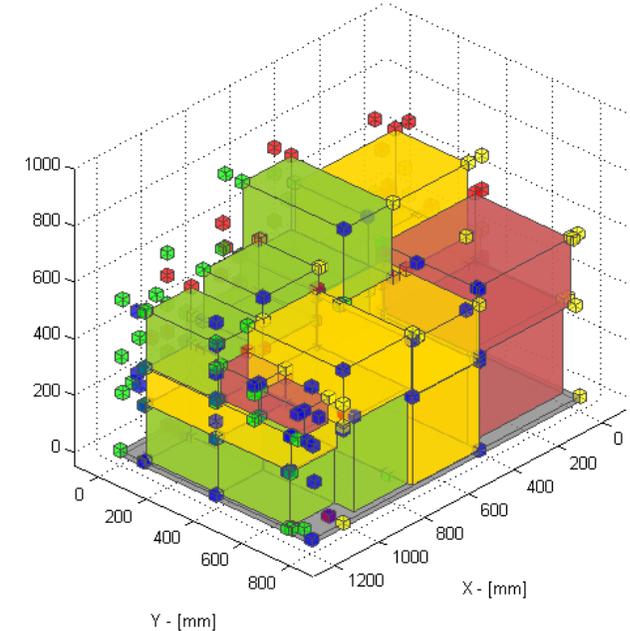
Exemples de visualisations



Bac des pièces
visibles

Index:51 Piece:22 Masse:0.0

Pile 1 - stratégie 417



Vue de la pile

<-- Dépiler [22] Empiler -->

Opacité des panneaux

3D

< >

75%

Palette en cours
de construction



Dans le monde réel

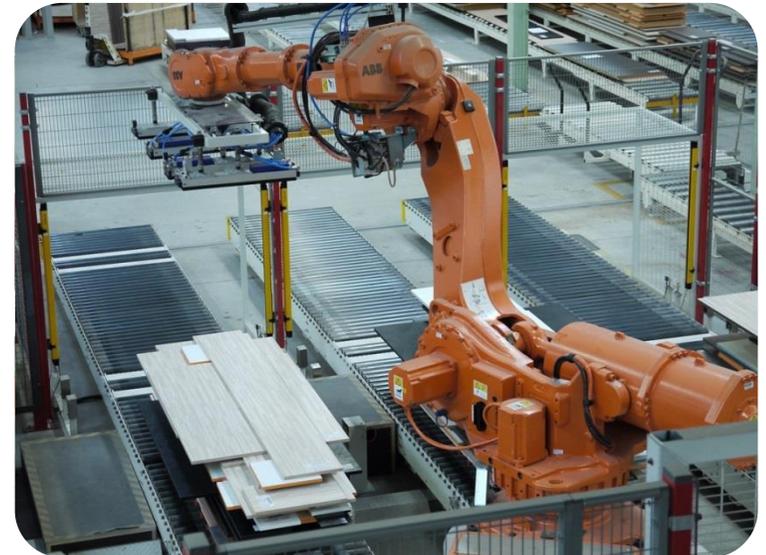
APPLICATIONS

Meubles sur mesures (Fournier)

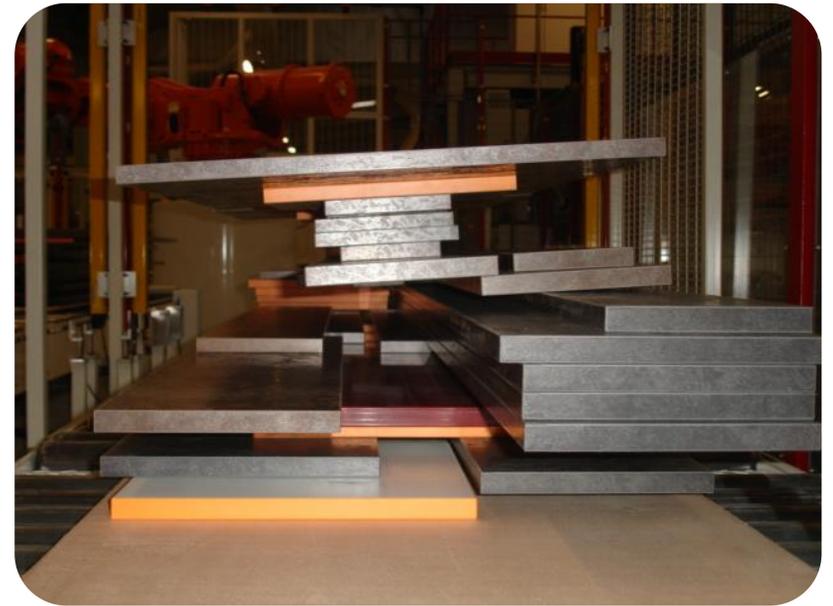
Applications

Empilage de planches de meubles sur mesure

- Une seule épaisseur de planche
- Multiples destinations (3 à 6)
- Visibilité moyenne (5 à 15 pièces)
- Solution choisie → optimisation couche par couche
- Mise en production → août 2010

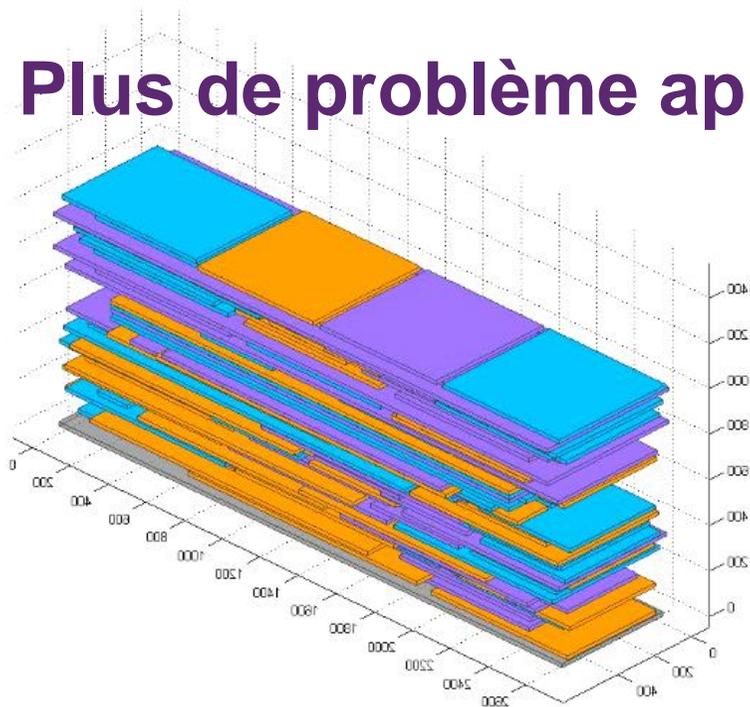


Résultats ??!?



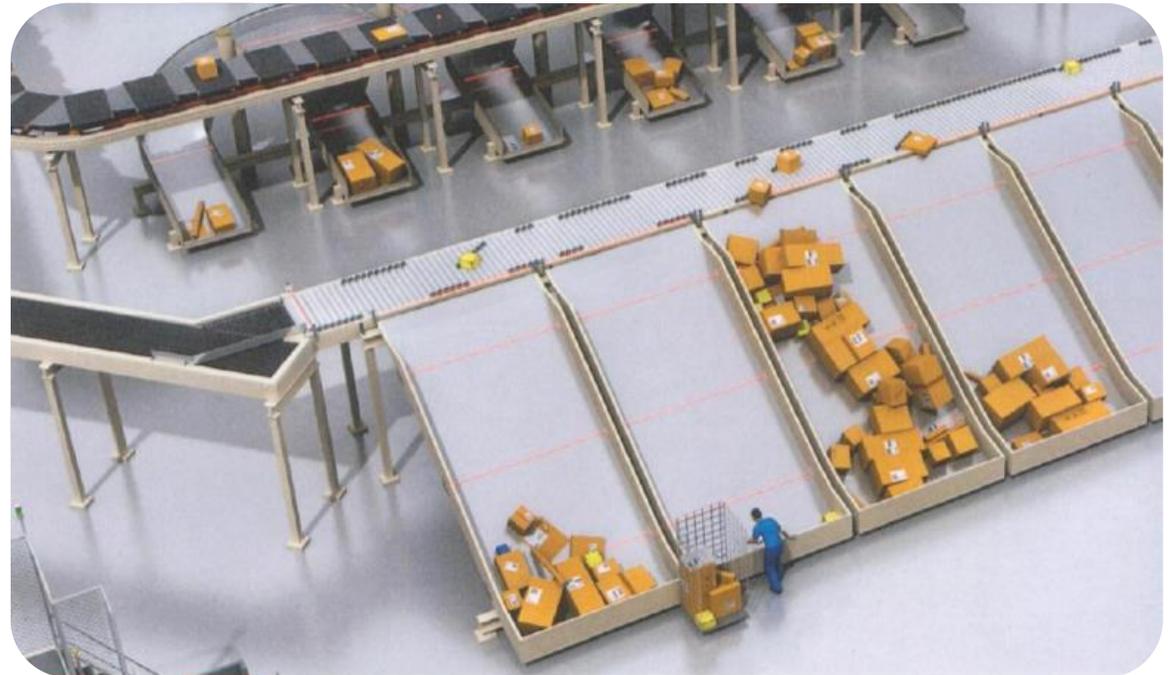
Résultats :

- Trois bugs reçus en novembre 2010
- Corrigés par un réglage des paramètres de stabilité plus strict
- **Plus de problème après**



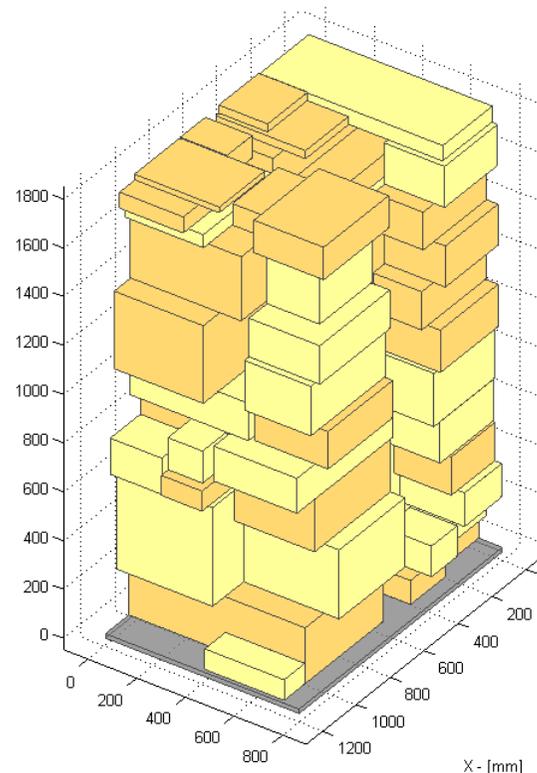
Automatisation d'un centre de tri

- Colis très hétérogènes → palettisation manuelle en fin de chaîne
- Emplois temporaires avec forts taux de TMS
- Solution à créer



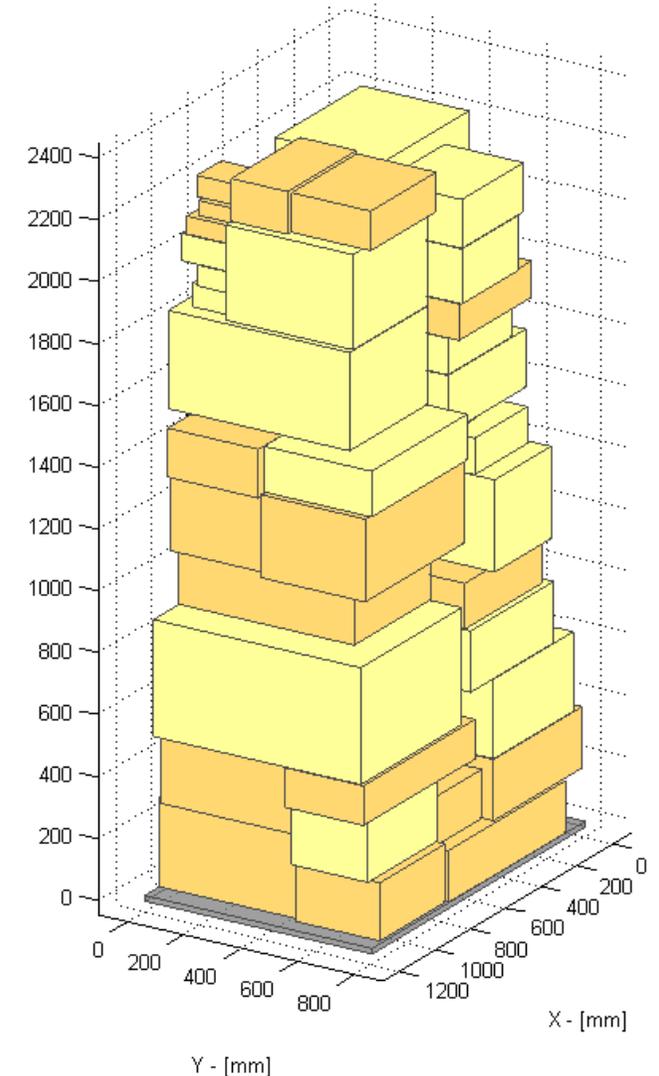
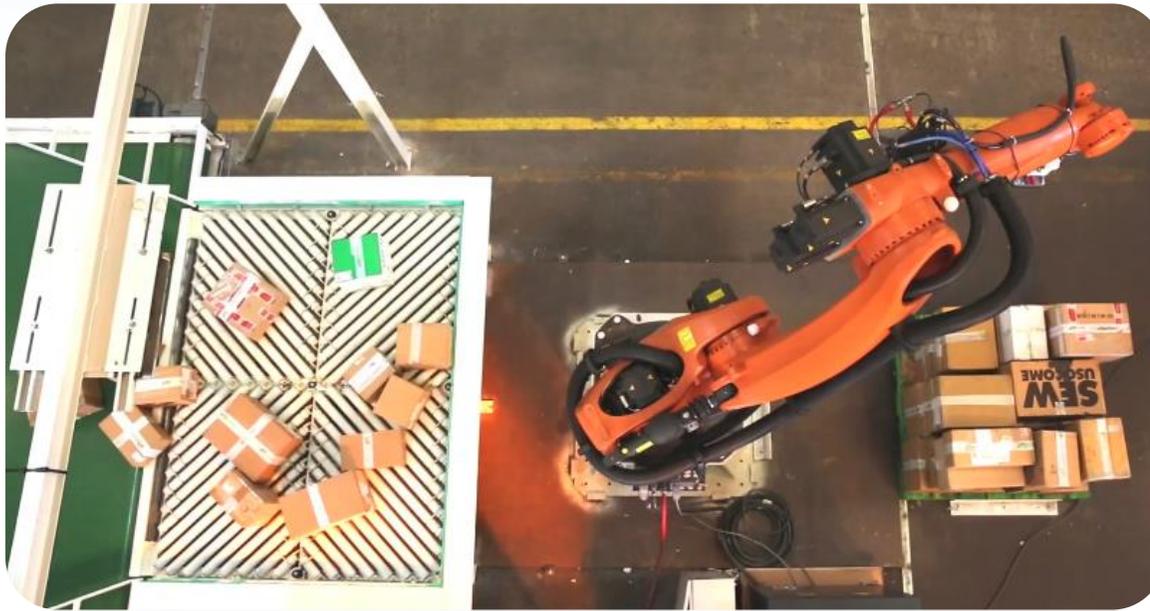
Résultats

- Conception de l'algorithme
- Mise au point et optimisation en simulation
- Validation par confrontation avec la réalité



Résultats

- Mise au point d'un prototype
- Intégration des mises jours par changement de DLL





En guise de perspectives

CONCLUSION

Démarche progressive

- Maîtrise de chaque étape

Gestion satisfaisante de la stabilité

- Critère a priori restrictif, mais paramétrable

Algorithmes de plus en plus complexes

- Solution modulaire adaptable à de nouveaux cas

→ Impossible sans un outil avancé de modélisation scientifique



Perspectives

Conclusions

Étendre les algorithmes à des produits non parallélépipédiques, masses non homogènes, ...

Intégrer un moteur de rendu physique dans Matlab

Interfacer la DLL dans un environnement de simulation physique

