INSA INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES LYON



Ecologie industrielle et économie circulaire

GI-4-S2-EC-EIE 2024-25

13.&14. Désassemblage

Objectifs des 2 prochaines séances

- Comprendre le désassemblage
  - faire le lien entre l'assemblage et le désassemblage
  - comprendre les étapes du désassemblage
  - savoir planifier un désassemblage sélectif
  - (Séance 14) prendre en considération la variabilité dans les coûts, l'état des composants et la disponibilité
    - savoir prendre en compte la variabilité via les scénarios
    - distinguer entre les types de variabilités

- Comme le reste d'EIE, but ≠ exercice de RO

  = *montrer que vous avez déjà des outils pour circulariser les flux dans un sys. de production*

Définition du désassemblage

- Le démontage est l'extraction des composants/pièces et matériaux utiles des produits en fin de vie grâce à une série d'opérations présentant les avantages suivants :
  - Le démontage permet le recyclage des ressources des produits en fin de vie ;
  - Certains composants peuvent être réutilisés ;
  - Le démontage peut éliminer les pièces contenant des substances nocives, par exemple des polluants environnementaux.

- La conception du produit et l'assemblage sont importants pour le désassemblage :
  - Le désassemblage peut être effectué s'il a été pensé au moment de l'assemblage
  - La conception du produit peut accélérer ou complètement annuler le désassemblage

  => Ecoconception dont le point d'entrée est l'ACV

Guo, Xiwang, MengChu Zhou, Abdullah Abusorrah, Fahad Alsokhiry, and Khaled Sedraoui. "Disassembly sequence planning: a survey." *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica* 8, no. 7 (2020): 1308-1324.

Types de désassemblage

- Désassemblage *total*
  - Le produit est totalement désassemblé en plusieurs composants
  - Ce type n'est pas toujours économiquement viable pour des raisons de coûts, de temps et de risques

- Désassemblage *sélectif*
  - Certains composants sont sélectionnés pour être désassemblés du produit
  - Les autres composants sont souvent recyclés ou jetés
  - En fonction des produits, les critères de sélection peuvent être : coût, temps, demande, etc.

Lambert, A. J. D. (1999). Linear programming in disassembly/clustering sequence generation. Computers & Industrial Engineering, 36(4), 723-738.

Qu’est-ce qu’un bon désassemblage ←→ Lien avec l’assemblage

- Pour réduire les impacts économiques et environnementaux :
  - Faire le désassemblage en temps minimum / charge minimale
  - Regrouper les composants ensemble
  - Limiter la variabilité des produits en fin de vie pour bien prédire les procédures de désassemblage
  - Éviter les matériaux/composants dangereux
  - À l’assemblage, tout composant de valeur, réutilisable ou dangereux doit être facile à extraire pour éviter de perdre du temps pendant le désassemblage
  - Avoir une durée prédictible des composants en fin de vie

Pourquoi le désassemblage ?

- Les possibilités de récupération de la valeur d'un produit

Possibilité	But	Niveau de désassemblage	Résultat / Impact
Réparation	Rendre le produit fonctionnel	Produit (désassemblage limité)	Quelques composants réparés
Reconditionnement	Améliorer la qualité, pas forcément comme neuf	Composant (peut être mise à jour)	Quelques composants réparés ou remplacés
Refabrication (remanufacturing)	Rendre neuf	Composant / Sous-composant	Composants réutilisés, recyclés, jetés
Recyclage	Réutilisation des matériaux	Matériaux	Matériaux utilisés dans d'autres produits

Étapes du désassemblage

- **Analyse du produit**
  - Déterminer la valeur du produit après désassemblage
  - La valeur comprend : possibilité de réutilisation du produit / des composants, risques du désassemblage, durée de vie après désassemblage, etc.

- **Analyse de l'assemblage**
  - Le plan d'assemblage est essetiel pour le désassemblage
  - L'analyse déterminera : les outils nécessaires, le temps et les compétences nécessaires, connaissances des composants pour maximiser la valeur, etc.

- **Analyse de l'utilisation et de l'état du produit / des composants**
  - Déterminer la valeur de chaque composant / sous-composant après désassemblage
  - État de fonctionnement après désassemblage
  - Quelle filière pour la maximisation de la valeur du composant / sous-composant

→ Besoin de bien gérer les opérations de désassemblage pour maximiser la valeur récupérée

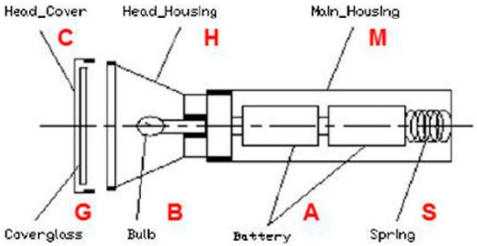
Selective disassembly sequencing problem

- Objectif :
  - Trouver les meilleures séquences pour désassembler un produit et obtenir les composants souhaités
  - Minimiser le coût des opérations

- Contraintes
  - Respecter les précédences entre les opérations de désassemblage

- Cas d'étude : désassemblage d'une torche





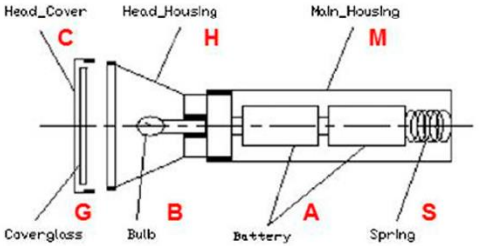
Kim, H. W., Park, C., & Lee, D. H. (2018). Selective disassembly sequencing with random operation times in parallel disassembly environment. International Journal of Production Research, 56(24), 7243-7257.

Selective disassembly sequencing problem

- Exercices :
  - Exercice 8 : trouver les séquences qui minimisent le coût dans le cas déterministe
  - Exercice 9 : les temps de désassemblage étant aléatoires (dépendants de l'opérateur), trouver les meilleures séquences dans un temps souhaité

- Exercice basé sur l'étude de Kim *et al.* (2018), mais simplifié (Exercice 8.xlsx disponible sur Moodle).

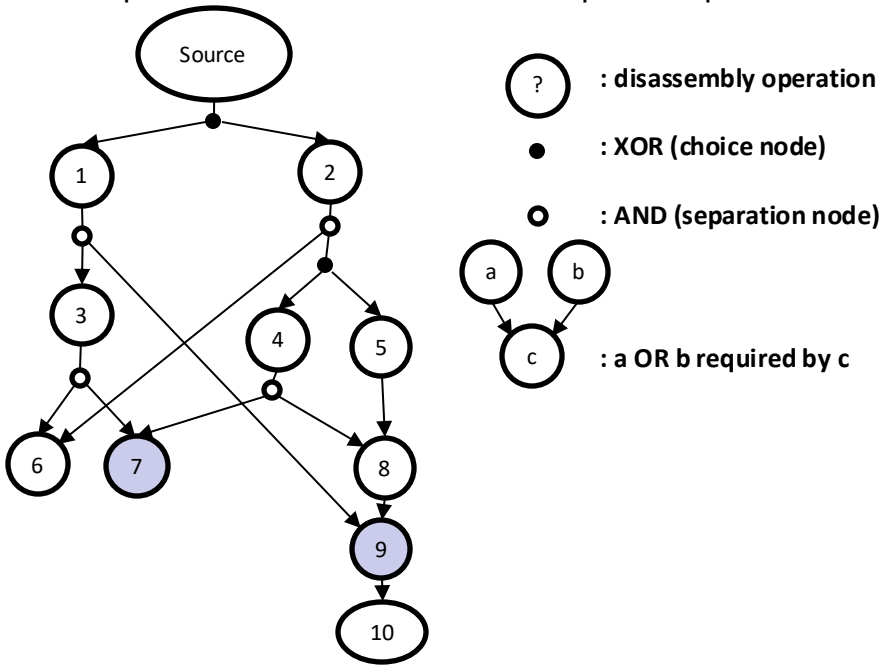




Kim, H. W., Park, C., & Lee, D. H. (2018). Selective disassembly sequencing with random operation times in parallel disassembly environment. International Journal of Production Research, 56(24), 7243-7257.

Graphe de précédences entre les opérations

Pour notre exercice, les composants souhaités sont obtenus par les opérations 7 et 9.



Kim, H. W., Park, C., & Lee, D. H. (2018). Selective disassembly sequencing with random operation times in parallel disassembly environment. International Journal of Production Research, 56(24), 7243-7257.

Modèle mathématique

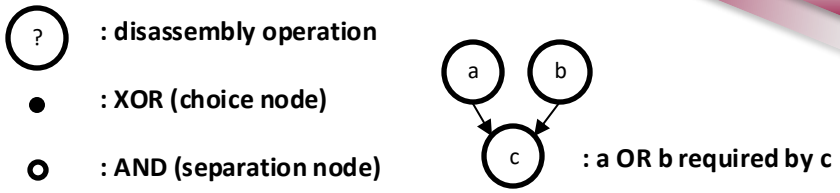
N	set of nodes in the extended process graph, $i,j,\ k \backslash in\ N$
A	set of arcs in the extended process graph, $(i, j) \in A$
T	set of target components, $t \in T$
OR	set of choice nodes
or_{ij}	representation of OR, *i.e.* or_{ij} = 1 and or_{ik} = 1 iff you can do j XOR k after i, but not j and k together
c_{ij}	disassembly cost for operation j immediately after performing operation i, i.e. sum of the corresponding sequence-dependent set-up and operation costs that satisfies the triangular inequality, i.e. $c_{ij} \leq c_{ik} + c_{kj}$ for all $k \neq i, j$
PR_{ij}	=1 if disassembly operation j must be done immediately after disassembly operation i, and 0 otherwise

Decision variables

x_{ij}	= 1 if disassembly operation j is performed immediately after operation i, and 0 otherwise
y_i	= 1 if disassembly operation i is performed, and 0 otherwise

Kim, H. W., Park, C., & Lee, D. H. (2018). Selective disassembly sequencing with random operation times in parallel disassembly environment. International Journal of Production Research, 56(24), 7243-7257.

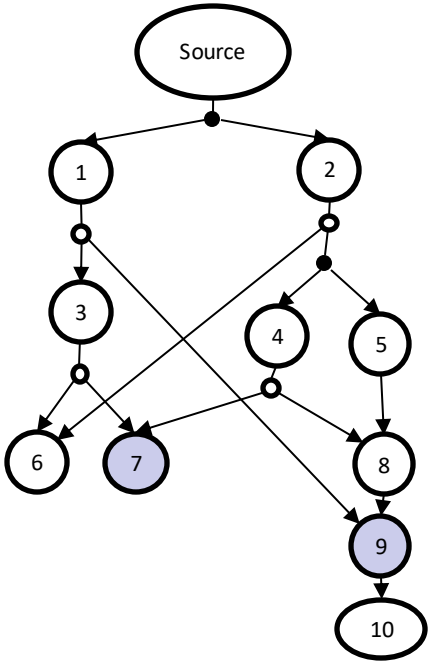
Modèle mathématique



Minimiser le coût total : $Minimise\ z = \sum_{(i,j)\in A} c_{ij}.x_{ij}$

Sujet à :

1. Conservation du flux entrant : $\sum_{i\in N} x_{ij} \geq y_j$ $\forall j \in N\backslash\{\text{Source}\}$
2. Conservation du flux sortant : $\sum_{j\in N} x_{ij} \leq M.y_i$ $\forall i \in N$
3. Opérations cibles : $y_j \geq 1$ $\forall j \in T = \{7,9\}$
4. Boucle interdite : $x_{ii} = 0$ $\forall i \in N$
5. Relation de précédence : $\sum_{i\in N} PR_{ij}.x_{ij} \geq y_j$ $\forall j \in N\backslash\{\text{Source}\}$
6. XOR sur choice nodes : $\sum_j or_{ij}.y_j \leq 1$ $\forall i \in OR = \{\text{Source},2\}$
7. Variables binaires : $x_{ij} \in \{0,1\}, y_j \in \{0,1\}$ $\forall (i,j) \in N^2$



Kim, H. W., Park, C., & Lee, D. H. (2018). Selective disassembly sequencing with random operation times in parallel disassembly environment. International Journal of Production Research, 56(24), 7243-7257.

Objectifs des 2 prochaines séances

- Comprendre le désassemblage
  - faire le lien entre l'assemblage et le désassemblage
  - comprendre les étapes du désassemblage
  - savoir planifier un désassemblage sélectif
  - (Séance 14) prendre en considération la variabilité dans les données du problème
    - savoir prendre en compte la variabilité via les scénarios
    - distinguer entre les types de variabilités

- Comme le reste d'EIE, but ≠ exercice de RO

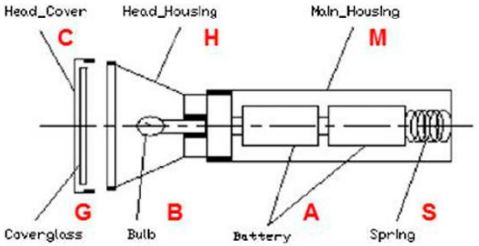
  = *montrer que vous avez déjà des outils pour circulariser les flux dans un sys. de production*

Selective disassembly sequencing problem

- Exercices :
  - Exercice 8 : trouver les séquences qui minimisent le coût dans le cas déterministe
  - Exercice 9 : les temps de désassemblage étant aléatoires (dépendants de l'opérateur), trouver les meilleures séquences dans un temps souhaité

- Exercice basé sur l'étude de Kim *et al.* (2018), mais simplifié (Exercice 9.xlsx disponible sur Moodle).





Kim, H. W., Park, C., & Lee, D. H. (2018). Selective disassembly sequencing with random operation times in parallel disassembly environment. International Journal of Production Research, 56(24), 7243-7257.

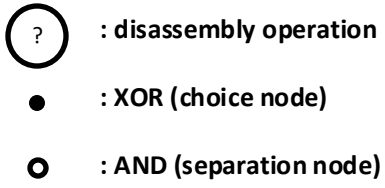
Que se passe-t-il si les coûts dépendent des temps de désassemblage ?

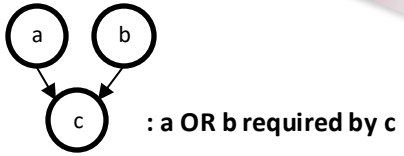
- Les coûts de désassemblage dépendent souvent des temps opératoires (souvent manuels)
- Comment prendre en considération la variabilité des coûts ?
- Modifier la fonction objectif → Calculer une espérance mathématique

- Pour notre problème :
  - Les coûts sont stochastiques (tirés avec une loi uniforme) ($c_{ij} \in [lb, ub]$)
  - L'intervalle de coût représente le coût du travail manuel
  - Chaque valeur est choisie aléatoirement (scénario ω)
  - La fonction objectif devient :

$$Minimise\ z = \frac{1}{|\Omega|} \sum_{\omega \in \Omega} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij}(\omega).x_{ij}$$

Le nouveau modèle mathématique

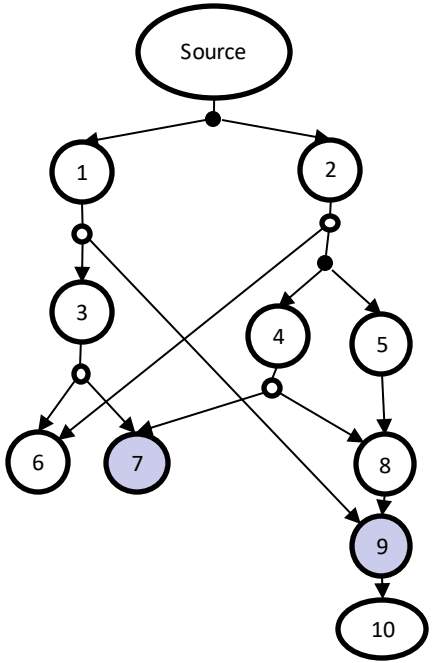




Minimiser le coût total : $Minimise\ z = \frac{1}{|\Omega|} \sum_{\omega \in \Omega} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij}(\omega).x_{ij}$

Sujet à :

1. Conservation du flux entrant : $\sum_{i \in N} x_{ij} \geq y_j$ $\forall j \in N \backslash \{\text{Source}\}$
2. Conservation du flux sortant : $\sum_{j \in N} x_{ij} \leq M.y_i$ $\forall i \in N$
3. Opérations cibles : $y_j \geq 1$ $\forall j \in T = \{7,9\}$
4. Boucle interdite : $x_{ii} = 0$ $\forall i \in N$
5. Relation de précédence : $\sum_{i \in N} PR_{ij}.x_{ij} \geq y_j$ $\forall j \in N \backslash \{\text{Source}\}$
6. XOR sur choice nodes : $\sum_j or_{ij}.y_j \leq 1$ $\forall i \in OR = \{\text{Source},2\}$
7. Variables binaires : $x_{ij} \in \{0,1\}, y_j \in \{0,1\}$ $\forall (i,j) \in N^2$



Kim, H. W., Park, C., & Lee, D. H. (2018). Selective disassembly sequencing with random operation times in parallel disassembly environment. International Journal of Production Research, 56(24), 7243-7257.

Sur Excel

- Partir du fichier Exercice 9.xlsx sur moodle.
- Générer plusieurs scénarios (matrices de coûts) dans les intervalles en utilisant la fonction RANDBETWEEN() (ALEA.ENTRE.BORNES() en français)
- Pour chaque scénario (matrice), créer une fonction qui permet de calculer la somme des coûts
- La fonction objectif du nouveau modèle est la moyenne de toutes les fonctions de tous les scénarios

- Résoudre le nouveau modèle avec la nouvelle fonction objectif, avec :
  - 5 scénarios
  - 10 scénarios
  - 20 scénarios

- À partir de quel nombre de scénarios on atteint une convergence (une moyenne des coûts qui ne change quasiment pas même si on ajoute plus scénarios) ?
- Que se passe-t-il si les opérations cibles sont 7, 8 et 10 ?