

C'est quoi la RO?

Karine Deschinkel, Marie-Ange Manier et Jean-Marc Nicod

FEMTO-ST 4 avril 2024



Programme

C'est quoi la RO ?

Domaines d'applications

Structuration de la recherche académique : le GRD ROD

Exemples de travaux en RO à FEMTO-ST

Discussion : la RO comme groupe ou axe de recherche à FEMTO-ST ?

C'est quoi la RO ?

C'est quoi la Recherche Opérationnelle et l'aide à la Décision (ROD)

- ▶ « La Recherche Opérationnelle est une discipline à la **frontière des mathématiques appliquées et de l'informatique**. L'objectif de la Recherche Opérationnelle est de trouver des solutions (recherche) à des (vrais) problèmes (opérationnels). Elle utilise des méthodes de résolution (algorithmes) permettant de construire des solutions sur des problèmes bien formulés (modèles) » ¹

1. eurodecision.com
2. wikipedia

C'est quoi la Recherche Opérationnelle et l'aide à la Décision (ROD)

- ▶ « La Recherche Opérationnelle est une discipline à la **frontière des mathématiques appliquées et de l'informatique**. L'objectif de la Recherche Opérationnelle est de trouver des solutions (recherche) à des (vrais) problèmes (opérationnels). Elle utilise des méthodes de résolution (algorithmes) permettant de construire des solutions sur des problèmes bien formulés (modèles) » ¹
- ▶ « La recherche opérationnelle peut aider le décideur lorsque celui-ci est confronté à un problème **combinatoire, aléatoire ou concurrentiel** » ²

1. eurodecision.com

2. wikipedia

C'est quoi la Recherche Opérationnelle et l'aide à la Décision (ROD)

- ▶ « La Recherche Opérationnelle est une discipline à la **frontière des mathématiques appliquées et de l'informatique**. L'objectif de la Recherche Opérationnelle est de trouver des solutions (recherche) à des (vrais) problèmes (opérationnels). Elle utilise des méthodes de résolution (algorithmes) permettant de construire des solutions sur des problèmes bien formulés (modèles) » ¹
- ▶ « La recherche opérationnelle peut aider le décideur lorsque celui-ci est confronté à un problème **combinatoire, aléatoire ou concurrentiel** » ²
- ▶ Cette discipline s'organise pendant la 2^{de} guerre mondiale et gagne le nom de **Recherche Opérationnelle**. Les problèmes traités concernent entre autre le placement d'antennes radar et la logistique des convois d'approvisionnement

1. eurodecision.com

2. wikipedia

C'est quoi la Recherche Opérationnelle et l'aide à la Décision (ROD)

- ▶ « La Recherche Opérationnelle est une discipline à la **frontière des mathématiques appliquées et de l'informatique**. L'objectif de la Recherche Opérationnelle est de trouver des solutions (recherche) à des (vrais) problèmes (opérationnels). Elle utilise des méthodes de résolution (algorithmes) permettant de construire des solutions sur des problèmes bien formulés (modèles) »¹
 - ▶ « La recherche opérationnelle peut aider le décideur lorsque celui-ci est confronté à un problème **combinatoire, aléatoire ou concurrentiel** »²
 - ▶ Cette discipline s'organise pendant la 2^{de} guerre mondiale et gagne le nom de **Recherche Opérationnelle**. Les problèmes traités concernent entre autre le placement d'antennes radar et la logistique des convois d'approvisionnement
- ⇒ **C'est une discipline (GDR ROD) au service d'autres disciplines**

1. eurodecision.com

2. wikipedia

C'est quoi la Recherche Opérationnelle et l'aide à la Décision (ROD)

En résumé

La Recherche Opérationnelle (RO), également connue sous le nom d'Optimisation, est un domaine **interdisciplinaire** qui utilise des méthodes **mathématiques**, **statistiques** et **informatiques** pour résoudre des **problèmes complexes** liés à la prise de décision dans des environnements opérationnels.

C'est quoi la Recherche Opérationnelle et l'aide à la Décision (ROD)

Approche méthodologique

- ▶ « Elle utilise des méthodes de résolution (algorithmes) permettant de construire des solutions sur des problèmes bien formulés (modèles). »³

C'est quoi la Recherche Opérationnelle et l'aide à la Décision (ROD)

Approche méthodologique

- ▶ « Elle utilise des méthodes de résolution (algorithmes) permettant de construire des solutions sur des problèmes bien formulés (modèles). »³
- ➔ Trouver des **valeurs** aux inconnues du problèmes sachant certaines **contraintes** dans le but de **maximiser ou minimiser** un certain objectif

C'est quoi la Recherche Opérationnelle et l'aide à la Décision (ROD)

Approche méthodologique

- ▶ « Elle utilise des méthodes de résolution (algorithmes) permettant de construire des solutions sur des problèmes bien formulés (modèles). »³
- ➔ Trouver des **valeurs** aux inconnues du problèmes sachant certaines **contraintes** dans le but de **maximiser** ou **minimiser** un certain objectif

Formulation mathématique

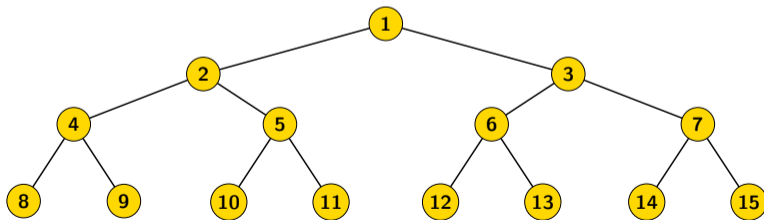
maximiser *Objectif*(x_1, x_2, \dots) s.t.

$$\left\{ \begin{array}{lll} \text{Contraintes 1}(x_1, x_2) & \leq & \text{borne1} \\ \text{Contraintes 2}(x_1, x_2) & \geq & \text{borne2} \\ & \dots & \dots \\ x_1, x_2, \dots & \geq & 0 \end{array} \right.$$

Résolution de problèmes et explosion combinatoire

Exemple de la recherche du plus court chemin à origine unique

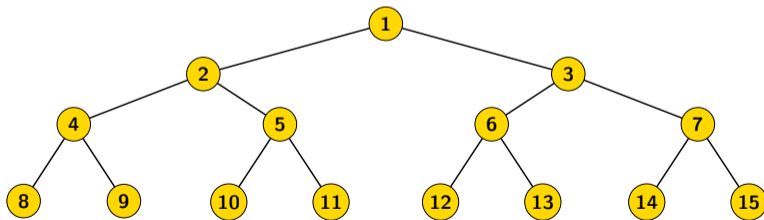
- ▶ Comme dans un labyrinthe, à chaque embranchement, 2 chemins possibles
- ▶ L'énumération de tous les chemins conduit à $\sim 2^n$ chemins différents



Résolution de problèmes et explosion combinatoire

Exemple de la recherche du plus court chemin à origine unique

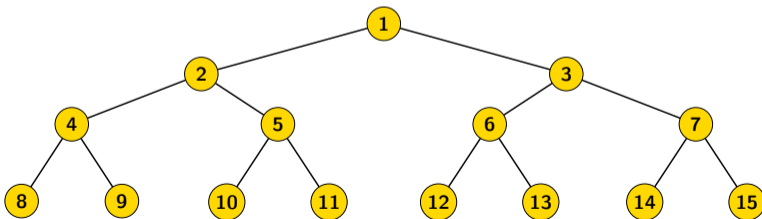
- ▶ Comme dans un labyrinthe, à chaque embranchement, 2 chemins possibles
- ▶ L'énumération de tous les chemins conduit à $\sim 2^n$ chemins différents
- 🚪 Il faut 1500 ans pour produire au niveau mondial les $2^{64} - 1$ grains de riz de la récompense du sage Sissa en remerciement de la création du jeu d'échec !



Résolution de problèmes et explosion combinatoire

Exemple de la recherche du plus court chemin à origine unique

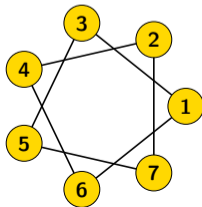
- ▶ Comme dans un labyrinthe, à chaque embranchement, 2 chemins possibles
- ▶ L'énumération de tous les chemins conduit à $\sim 2^n$ chemins différents
- 🛒 Il faut 1500 ans pour produire au niveau mondial les $2^{64} - 1$ grains de riz de la récompense du sage Sissa en remerciement de la création du jeu d'échec !
- 😊 Heureusement il existe un algorithme glouton (Dijkstra) de complexité polynomiale



Autres problèmes combinatoires (1/3)

Problème du voyageur de commerce

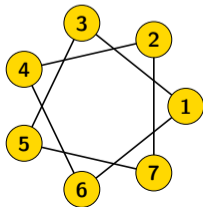
- 🚗 Visiter un ensemble de villes placées dans un graphe complet
 - ▶ Dans quel ordre si le but est de minimiser la distance parcourue
 - ▶ Toute permutation est une solution, quelle est la meilleure ?



Autres problèmes combinatoires (1/3)

Problème du voyageur de commerce

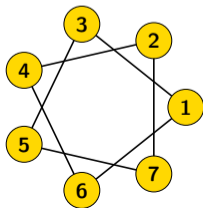
- 🚗 Visiter un ensemble de villes placées dans un graphe complet
 - ▶ Dans quel ordre si le but est de minimiser la distance parcourue
 - ▶ Toute permutation est une solution, quelle est la meilleure ?
- ⚙️ avec 3 villes : (1,2,3) (1,3,2) (2,1,3) (2,3,1) (3,1,2) (3,2,1)



Autres problèmes combinatoires (1/3)

Problème du voyageur de commerce

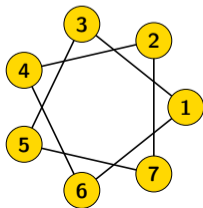
- 🚗 Visiter un ensemble de villes placées dans un graphe complet
 - ▶ Dans quel ordre si le but est de minimiser la distance parcourue
 - ▶ Toute permutation est une solution, quelle est la meilleure ?
- ⚙️ avec 3 villes : (1,2,3) (1,3,2) (2,1,3) (2,3,1) (3,1,2) (3,2,1)
- ➔ $n!$ solutions



Autres problèmes combinatoires (1/3)

Problème du voyageur de commerce

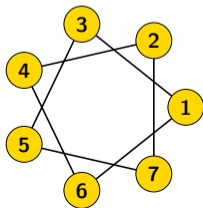
- 🚗 Visiter un ensemble de villes placées dans un graphe complet
 - ▶ Dans quel ordre si le but est de minimiser la distance parcourue
 - ▶ Toute permutation est une solution, quelle est la meilleure ?
- ⚙️ avec 3 villes : (1,2,3) (1,3,2) (2,1,3) (2,3,1) (3,1,2) (3,2,1)
- ➔ **$n!$ solutions**
- ▶ Pour 60 villes, il y a plus de solutions que d'atomes dans l'univers



Autres problèmes combinatoires (1/3)

Problème du voyageur de commerce

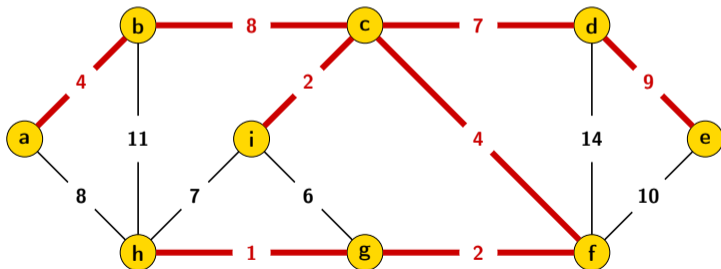
- 🚗 Visiter un ensemble de villes placées dans un graphe complet
 - ▶ Dans quel ordre si le but est de minimiser la distance parcourue
 - ▶ Toute permutation est une solution, quelle est la meilleure ?
- ⚙️ avec 3 villes : (1,2,3) (1,3,2) (2,1,3) (2,3,1) (3,1,2) (3,2,1)
- ➔ **$n!$ solutions**
 - ▶ Pour 60 villes, il y a plus de solutions que d'atomes dans l'univers
- ⚙️ On va rechercher un algorithme permettant de trouver une très bonne solution



Autres problèmes combinatoires (2/3)

Exemple de la minimisation du nombre de routes pour connecter toutes les maisons d'un village

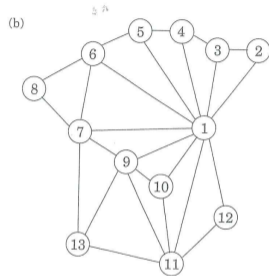
- ▶ Problème de recherche d'un arbre couvrant de poids minimal
- ▶ Ce problème est un problème combinatoire pour lequel il est possible de trouver la meilleure solution en temps polynomial



Autres problèmes combinatoires (3/3)

Coloration d'un graphe avec le minimum de couleurs

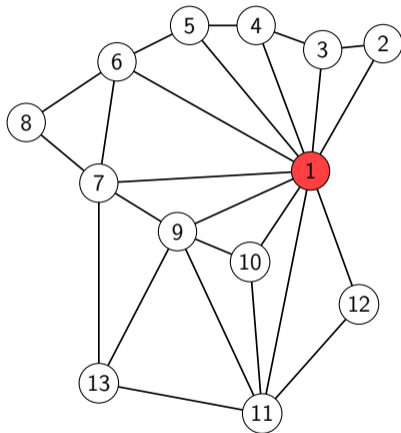
- ▶ 2 sommets voisins ne partagent pas la même couleur
- ▶ il n'existe pas d'algorithmes polynomiales qui trouvent le nombre optimal de couleurs (NP-Complet)
- ▶ problèmes d'emploi du temps
- ➔ recherche de solutions approchées (Welsh et Powel)



Autres problèmes combinatoires (3/3)

Coloration d'un graphe avec le minimum de couleurs

- ▶ 2 sommets voisins ne partagent pas la même couleur
- ▶ il n'existe pas d'algorithmes polynomiales qui trouvent le nombre optimal de couleurs (NP-Complet)
- ▶ problèmes d'emploi du temps
- ➔ recherche de solutions approchées (Welsh et Powel)



Autres problèmes combinatoires (3/3)

Coloration d'un graphe avec le minimum de couleurs

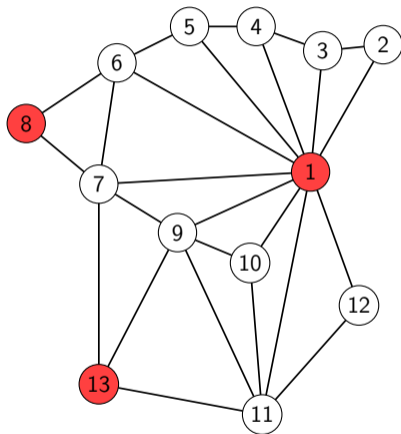
- ▶ 2 sommets voisins ne partagent pas la même couleur
- ▶ il n'existe pas d'algorithmes polynomiales qui trouvent le nombre optimal de couleurs (NP-Complet)
- ▶ problèmes d'emploi du temps
- ➔ recherche de solutions approchées (Welsh et Powel)



Autres problèmes combinatoires (3/3)

Coloration d'un graphe avec le minimum de couleurs

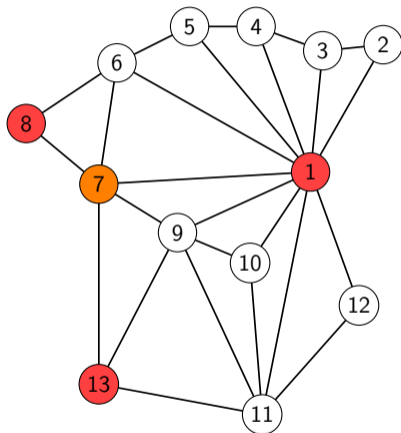
- ▶ 2 sommets voisins ne partagent pas la même couleur
- ▶ il n'existe pas d'algorithmes polynomiales qui trouvent le nombre optimal de couleurs (NP-Complet)
- ▶ problèmes d'emploi du temps
- ➔ recherche de solutions approchées (Welsh et Powel)



Autres problèmes combinatoires (3/3)

Coloration d'un graphe avec le minimum de couleurs

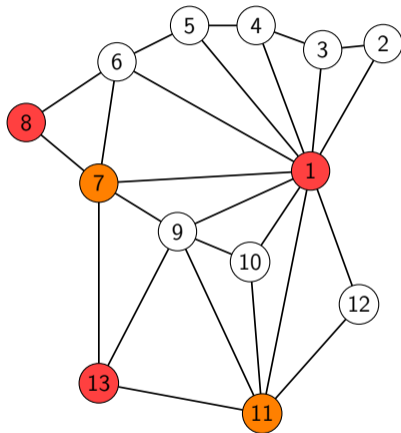
- ▶ 2 sommets voisins ne partagent pas la même couleur
- ▶ il n'existe pas d'algorithmes polynomiales qui trouvent le nombre optimal de couleurs (NP-Complet)
- ▶ problèmes d'emploi du temps
- ➔ recherche de solutions approchées (Welsh et Powel)



Autres problèmes combinatoires (3/3)

Coloration d'un graphe avec le minimum de couleurs

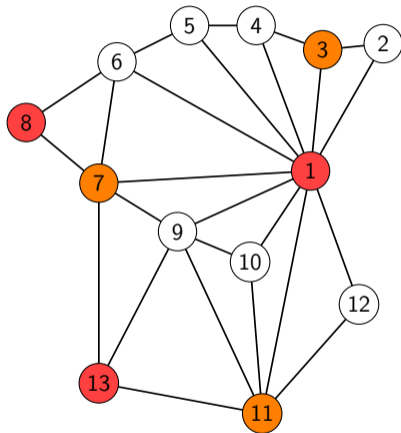
- ▶ 2 sommets voisins ne partagent pas la même couleur
- ▶ il n'existe pas d'algorithmes polynomiales qui trouvent le nombre optimal de couleurs (NP-Complet)
- ▶ problèmes d'emploi du temps
- ➔ recherche de solutions approchées (Welsh et Powel)



Autres problèmes combinatoires (3/3)

Coloration d'un graphe avec le minimum de couleurs

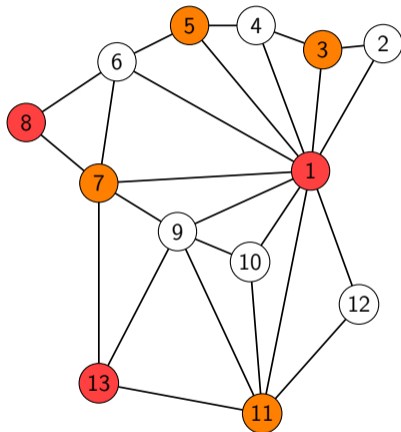
- ▶ 2 sommets voisins ne partagent pas la même couleur
- ▶ il n'existe pas d'algorithmes polynomiales qui trouvent le nombre optimal de couleurs (NP-Complet)
- ▶ problèmes d'emploi du temps
- ➔ recherche de solutions approchées (Welsh et Powel)



Autres problèmes combinatoires (3/3)

Coloration d'un graphe avec le minimum de couleurs

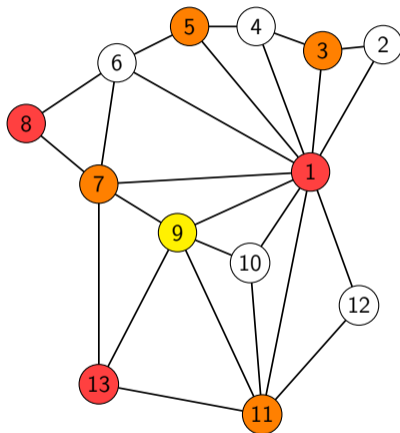
- ▶ 2 sommets voisins ne partagent pas la même couleur
- ▶ il n'existe pas d'algorithmes polynomiales qui trouvent le nombre optimal de couleurs (NP-Complet)
- ▶ problèmes d'emploi du temps
- ➔ recherche de solutions approchées (Welsh et Powel)



Autres problèmes combinatoires (3/3)

Coloration d'un graphe avec le minimum de couleurs

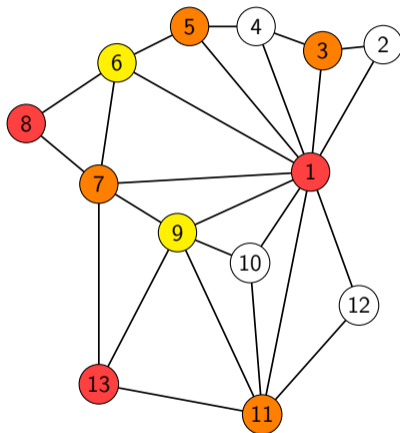
- ▶ 2 sommets voisins ne partagent pas la même couleur
- ▶ il n'existe pas d'algorithmes polynomiales qui trouvent le nombre optimal de couleurs (NP-Complet)
- ▶ problèmes d'emploi du temps
- ➔ recherche de solutions approchées (Welsh et Powel)



Autres problèmes combinatoires (3/3)

Coloration d'un graphe avec le minimum de couleurs

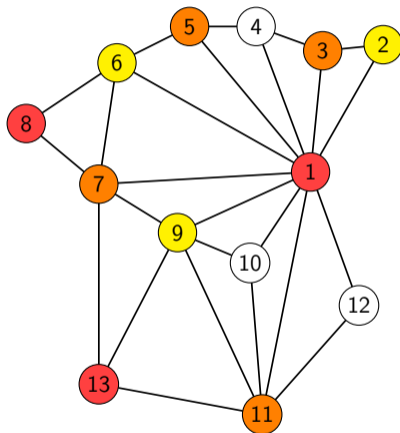
- ▶ 2 sommets voisins ne partagent pas la même couleur
- ▶ il n'existe pas d'algorithmes polynomiales qui trouvent le nombre optimal de couleurs (NP-Complet)
- ▶ problèmes d'emploi du temps
- ➔ recherche de solutions approchées (Welsh et Powel)



Autres problèmes combinatoires (3/3)

Coloration d'un graphe avec le minimum de couleurs

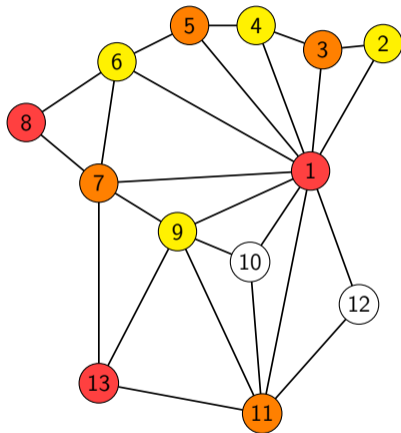
- ▶ 2 sommets voisins ne partagent pas la même couleur
- ▶ il n'existe pas d'algorithmes polynomiales qui trouvent le nombre optimal de couleurs (NP-Complet)
- ▶ problèmes d'emploi du temps
- ➔ recherche de solutions approchées (Welsh et Powel)



Autres problèmes combinatoires (3/3)

Coloration d'un graphe avec le minimum de couleurs

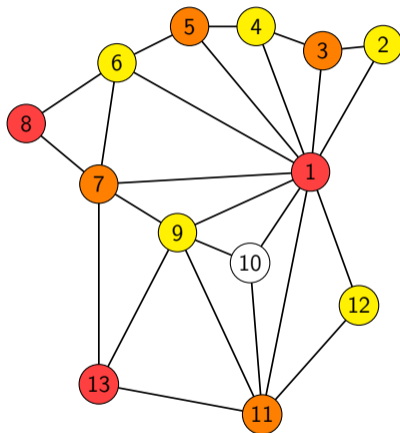
- ▶ 2 sommets voisins ne partagent pas la même couleur
- ▶ il n'existe pas d'algorithmes polynomiales qui trouvent le nombre optimal de couleurs (NP-Complet)
- ▶ problèmes d'emploi du temps
- ➔ recherche de solutions approchées (Welsh et Powel)



Autres problèmes combinatoires (3/3)

Coloration d'un graphe avec le minimum de couleurs

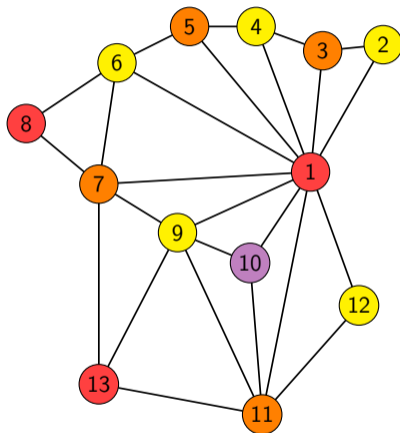
- ▶ 2 sommets voisins ne partagent pas la même couleur
- ▶ il n'existe pas d'algorithmes polynomiales qui trouvent le nombre optimal de couleurs (NP-Complet)
- ▶ problèmes d'emploi du temps
- ➔ recherche de solutions approchées (Welsh et Powel)



Autres problèmes combinatoires (3/3)

Coloration d'un graphe avec le minimum de couleurs

- ▶ 2 sommets voisins ne partagent pas la même couleur
- ▶ il n'existe pas d'algorithmes polynomiales qui trouvent le nombre optimal de couleurs (NP-Complet)
- ▶ problèmes d'emploi du temps
- ➔ recherche de solutions approchées (Welsh et Powel)



Résolution des problèmes combinatoires

Méthodes de résolution

- ▶ Modélisation mathématique (objectifs et contraintes)
- ▶ Résolution exacte
 - ▶ Programmation mathématique (simplexe ou autres)
 - ▶ Algorithmique gloutonne
 - ▶ Programmation dynamique
 - ▶ Recherche par force brute si la taille du problème le permet
- ▶ Résolution approchée dans les problèmes de grande taille
 - ▶ Heuristiques
 - ▶ Méta-heuristiques

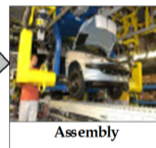
Domaines d'applications

Domaines d'application de la RO

Planification et Ordonnancement



- ▶ ordonnancer des tâches
- ▶ ordonnancer les pièces sur une chaîne d'assemblage
- ▶ Exemple : Car sequencing (Renault)



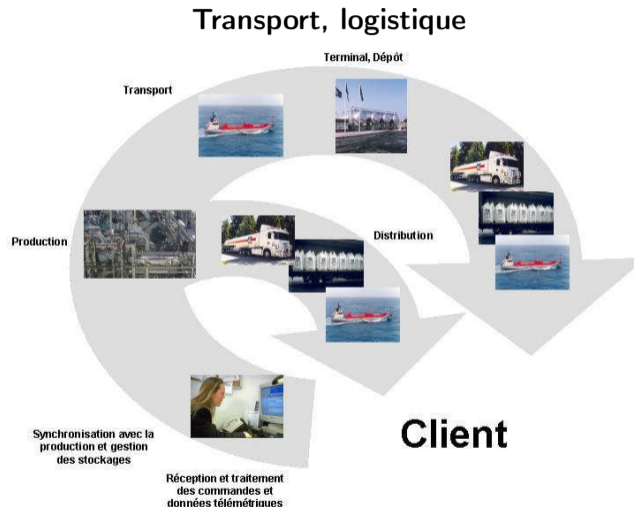
DEMANDES CLIENTS													
janv 2018													
	13/1	13/2	13/3	13/4	13/5	13/6	13/7	13/8	13/9	13/10	13/11	13/12	
11	Charrosse	0	2	3	5	2	2	2		2	4	8	1
12	Charrosse	3	1							4	1	1	
13	Charrosse												
14	Charrosse												
15	Limousine												
16	Limousine	1	2	1	1	1	1			2	1	1	2
17	Limousine	5				2	1						
18	Limousine	1	1			2	1	1					8
19	Char ou Lim												
20	Char ou Lim												
21	Char ou Lim												
22	Char ou Lim												
23	Char ou Lim												
24	Char ou Lim												
25	Char ou Lim												
26	Char ou Lim												
27	Char ou Lim												
28	Char ou Lim												
29	Char ou Lim												
30	Char ou Lim												
31	Char ou Lim												

Gestion des Ressources Humaines

The Air France logo is displayed in white on a dark blue background. It consists of the word "AIRFRANCE" in a bold, sans-serif font, followed by a red and blue stylized chevron symbol.

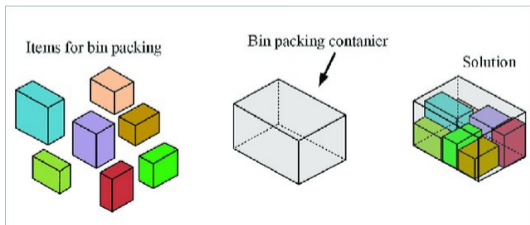
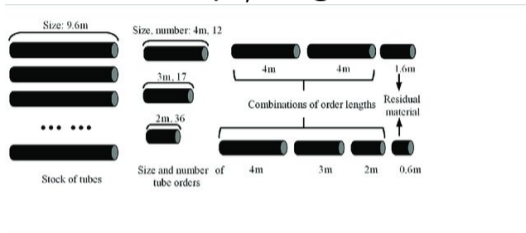
- ▶ Faire un planning de personnel
- ▶ Exemple : construction des plannings des Personnels Navigants Commerciaux (PNC) chez **AirFrance**

Domaines d'application de la RO



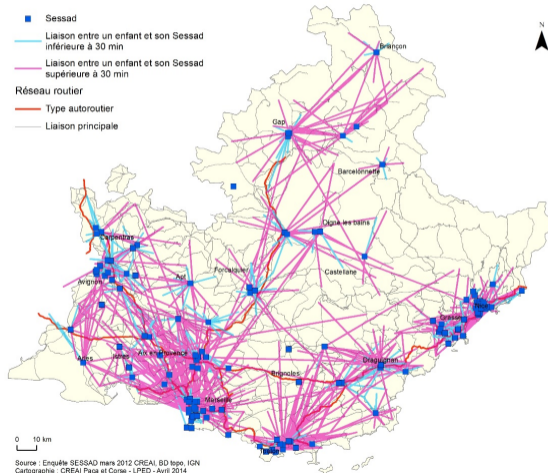
- ▶ Optimisation des tournées de véhicules, distribution
- ▶ Organisation de centres logistiques

Découpe/Rangement



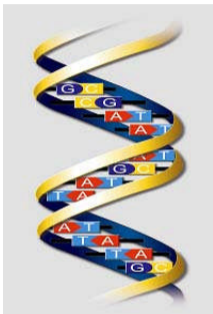
Domaines d'application de la RO

Routage



Domaines d'application de la RO

Santé



	H^r	H^g	H^b
1	3	0	
2	4	1	
2	2	3	
3	1	2	
1	1	2	
3	2	2	
3	2	4	
3	2	2	
2	2	2	
2	2	2	

	r		g	g	g				
r	r		g	g	g			b	b
r	r	r	g	g		b	b	b	
r	r	r				b	b	g	
b	b		r	r	r	r	g	g	
b	b	b	b	r	r	r	r	g	g
g	g		b	b		r	r	r	
	g	g		b	b			r	r
	g	g		b	b			r	r

1	4	3	1	1	2	2	2	3	3	v^r
1	3	2	1	3	4	2	0	3	2	v^g
2	2	1	2	3	2	1	3	2	2	v^b

- ▶ reconstruire des chaînes d'ADN connues partiellement
- ▶ planifier l'utilisation des blocs opératoires, et des horaires du personnel
- ▶ reconstruire des images colorées à partir de deux projections orthogonales (Problème NP-complet)

ARTICLE IN PRESS

European Journal of Operational Research xxx (xxxx) xxx



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

European Journal of Operational Research

journal homepage: www.elsevier.com/locate/eor



Invited Review in Celebration of the 50th Anniversary of EURO

Fifty years of portfolio optimization

Ahti Salo^{a,*}, Michalis Doumpos^c, Juuso Liesiö^b, Constantin Zopounidis^{c,d}

^a Department of Mathematics and Systems Analysis, Aalto University School of Science, Finland

^b Department of Information and Service Management, Aalto University School of Business, Finland

^c Financial Engineering Laboratory, School of Production Engineering and Management, Technical University of Crete, Greece

^d Audencia Business School, France

ARTICLE INFO

Keywords:

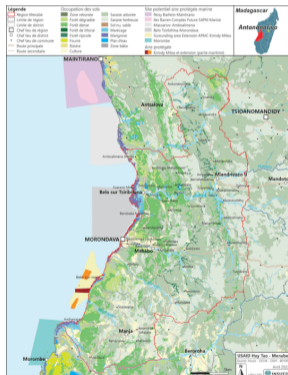
Portfolio optimization
Multiattribute value/utility theory
Multicriteria decision aiding
Portfolio decision analysis
Resource allocation

ABSTRACT

The allocation of resources to alternative investment opportunities is one of the most important decisions organizations and individuals face. These decisions can be guided by building and solving portfolio optimization models that capture the salient aspects of the investment problem, including decision-makers' preferences, multiple objectives, and decision opportunities over the planning horizon. In this paper, we give a historically grounded overview of portfolio optimization which, as a field within operational research with roots in finance, is vast thanks to many decades of research and the huge diversity of problems that have been tackled. In particular, we provide a unified and therefore unique treatment that covers the full breadth of portfolio optimization problems, including, for instance, the allocation of resources to financial assets and the selection of indivisible assets such as R&D projects. We also identify opportunities for future methodological and applied research, hoping to inspire researchers to contribute to the growing field of portfolio optimization.



Environnement et développement durable

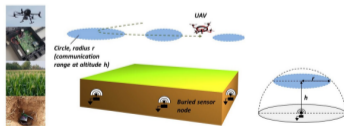


Results in Engineering
Volume 20, December 2023, 101603



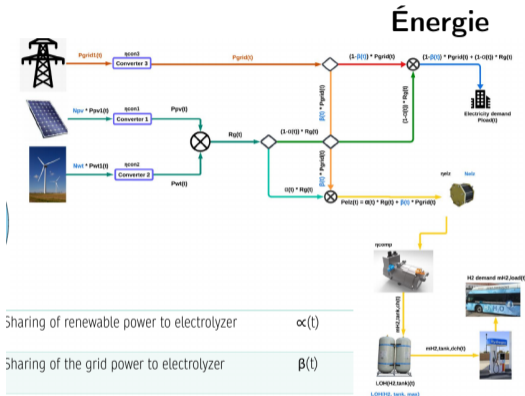
Performance optimization of water distribution network using meta-heuristic algorithms from the perspective of leakage control and resiliency factor (case study: Tehran water distribution network, Iran)

Aiireza Shahhosseini ^a, Mohsen Najarichi ^b, Mohammad Mahdi Najafizadeh ^c, Mohammad Mirhoseini Hezaveh ^b



- ▶ protection d'espèce via la planification spatiale marine
- ▶ gestion des ressources d'eau
- ▶ gestion des sols en agriculture

Domaines d'application de la RO



- ▶ dimensionnement et management d'un système électrique
- ▶ placement des bornes de recharge

Principales méthodes de résolution

1. **Programmation linéaire (PL)** : Résolution de problèmes d'optimisation linéaire.
2. **Programmation entière (PE)** : Extension de la PL où les variables sont des entiers.
3. **Programmation dynamique** : Méthode pour résoudre des problèmes basés sur la solution de sous-problèmes.
4. **Algorithmes de recherche heuristique** : Méthodes pour résoudre des problèmes difficiles où une solution optimale n'est pas réalisable en temps raisonnable.
5. **Théorie des graphes** : Modélisation et résolution de problèmes impliquant des réseaux, des circuits, etc.
6. **Théorie des files d'attente** : Analyse des systèmes de files d'attente.
7. **Théorie des jeux** : Analyse des décisions concurrentes prises par des acteurs rationnels.
8. **Programmation par contraintes (PC)** : Résolution de problèmes basée sur la satisfaction de contraintes.

La programmation linéaire

L'objectif : Min coût / Max Profit $c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$

Satisfaire la demande : $a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n \geq b_1$

Avec des ressources limitées : $a'_1x_1 + a'_2x_2 + \dots + a'_nx_n \leq b'_1$

Quantités produites (variables de décision) : $x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$

Exemple simple n°1 de Programme Linéaire

Une ferme du Finistère produit des **artichauts**, des **betteraves** et des **carottes** avec deux engrais naturels (des solutions liquides à base d'**algues** et de **purin**).

La production d'un légume demande un temps de main d'œuvre (en h/kg) et une quantité d'engrais (en l/kg).

⇒ Il faut produire (en tout) 120 kg pour répondre à la demande locale.

	Temps de main d'œuvre (h/kg)	Algues (l/kg)	Purin (l/kg)
Artichauts	4	1	3
Betteraves	2	3	5
Carottes	3	5	2
Stocks		260 Litres	340 Litres

⇒ Quelles quantités de légumes produire pour minimiser le temps de main d'œuvre ?

Solution de l'exemple n°1

Résolution avec un solveur en ligne glpk

Solve a CPLEX problem online

Minimize

obj: + 4 x_A + 2 x_B + 3 x_C

Subject To

algues: 1 x_A + 3 x_B + 5 x_C <= 260

purin: 3 x_A + 5 x_B + 2 x_C <= 340

quantite : x_A + x_B + x_C >= 120

Generals

x_A

x_B

x_C

End

Exemple simple n°2 de Programme Linéaire (en nombre entier)

Les données du problème sont :

- ▶ ensemble d'espèces : $E = e_1, e_2 \dots e_p$
- ▶ ensemble de zones : $S = s_1, s_2 \dots s_n$
- ▶ $a_{ij} = 1$ si, l'espèce e_i survivra si on protège la zone s_j , 0 sinon

On souhaite sélectionner un nombre minimal de zones afin de protéger toutes les espèces de E.

Le modèle de programme linéaire :

- ▶ Variables $x_j = 1$ si on protège la zone s_j , 0 sinon, $j = 1, 2 \dots n$

$$\min \sum_{j=1}^{j=n} x_j$$

$$\sum_{j=1}^{j=n} a_{ij} x_j \geq 1 \forall i = 1, 2 \dots p$$

Exemple simple n°3 : le problème du sac à dos

On dispose de n objets ($i = 1..n$). Chaque objet i a une valeur v_i et un poids p_i . Quels sont les objets que j'emporte dans mon sac si je veux maximiser la valeur totale de mon sac et respecter une contrainte de poids maximal P ?

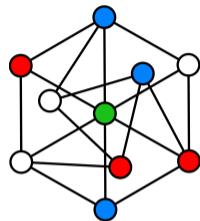
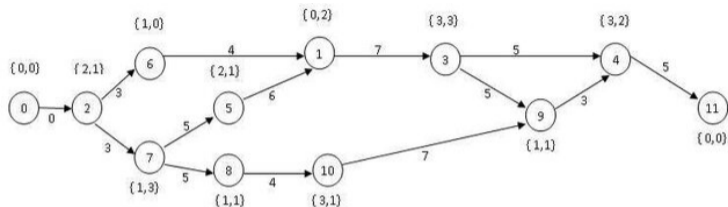
Le modèle de programme linéaire :

- ▶ Variables $x_i = 1$ si on emporte l'objet i 0 sinon, $i = 1, 2, \dots, n$

$$\max \sum_{i=1}^{i=n} v_i x_i$$

$$\sum_{i=1}^{i=n} p_i x_i \leq P$$

Les graphes

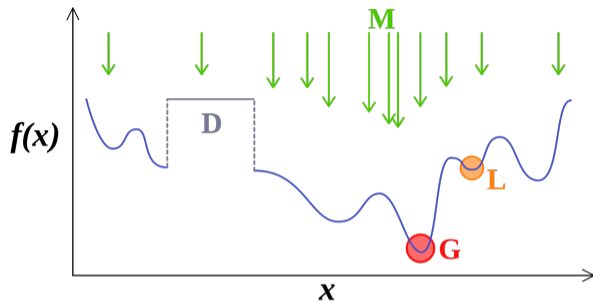


Valuation des arêtes = coûts, temps, distance, capacités etc.

⇒ Représentation de réseaux, de précédences en ordonnancement, de compatibilité de produits...

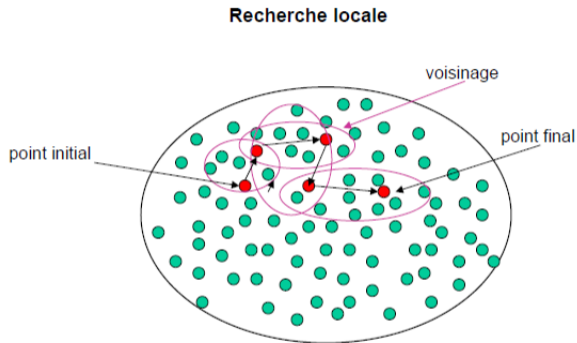
- ▶ problème de décision : étant donné G , un graphe, et k un entier, existe-t-il une coloration valide de G utilisant k couleurs ?
- ▶ problème d'optimisation : étant donné G , quel est son nombre chromatique ?

Méthodes heuristiques en Recherche Opérationnelle



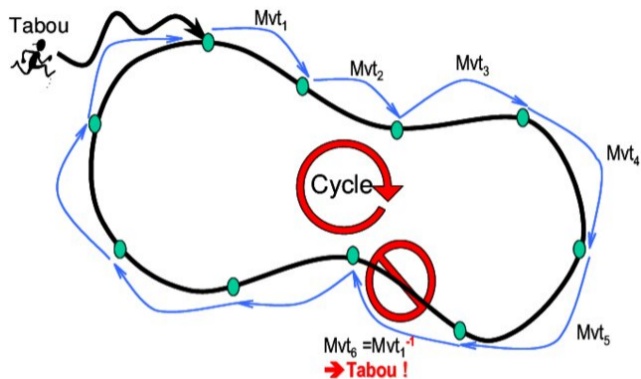
- ▶ Recherche locale
- ▶ Recherche tabou
- ▶ Recuit simulé
- ▶ Algorithmes génétiques
- ▶ Algorithme de colonies de fourmis
- ▶ Optimisation par essais particulaires (PSO)

Recherche locale



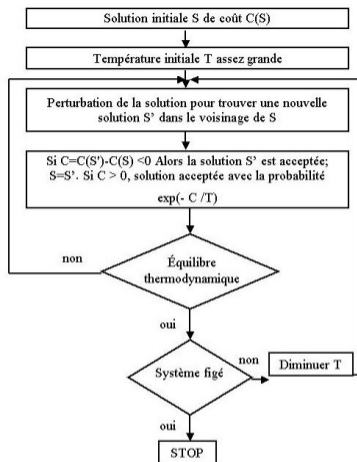
Algorithme qui explore l'espace des solutions à partir d'un point de départ initial en se déplaçant vers des voisins améliorants, cherchant à améliorer progressivement la solution.

Recherche tabou



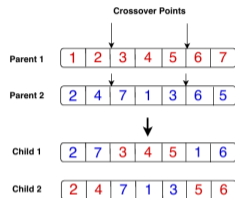
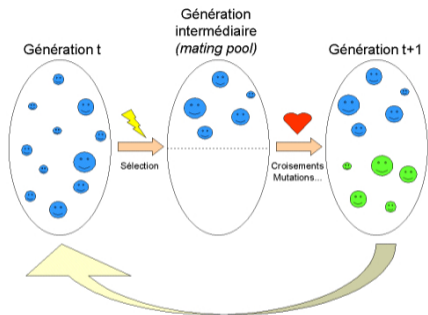
Méthode de recherche locale qui évite de rester bloqué dans des optima locaux en interdisant de revisiter des solutions déjà explorées pendant un certain nombre d'itérations.

Recuit simulé



Méthode inspirée du processus de recuit métallurgique, qui permet d'explorer l'espace des solutions en acceptant occasionnellement des solutions pires que la solution actuelle pour éviter de rester coincé dans des optima locaux.

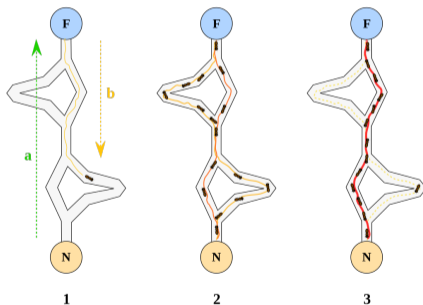
Algorithmes génétiques



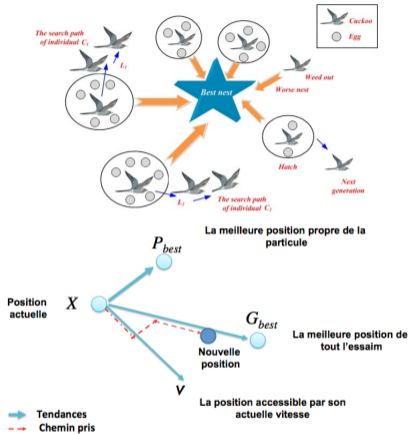
Inspirés par le processus de sélection naturelle, ces algorithmes utilisent des opérateurs génétiques tels que la reproduction, la mutation et la sélection pour explorer l'espace des solutions.

Algorithme de colonies de fourmis

Inspiré par le comportement des fourmis, cet algorithme simule le processus de recherche de nourriture par les fourmis pour trouver des solutions de qualité pour des problèmes d'optimisation.



Optimisation par essais particuliers (PSO)



Inspiré par le comportement de recherche de nourriture des oiseaux et des poissons en groupe, cet algorithme utilise un ensemble de solutions potentielles appelées particules pour explorer l'espace de recherche.

Logiciels en Recherche Opérationnelle

- ▶ IBM ILOG CPLEX
- ▶ Gurobi Optimization
- ▶ AMPL (A Mathematical Programming Language)
- ▶ LINGO
- ▶ MATLAB Optimization Toolbox
- ▶ SAS/OR
- ▶ Microsoft Excel Solver
- ▶ Python avec les bibliothèques `scipy.optimize` et PuLP
- ▶ SAP APO (Advanced Planning and Optimization)
- ▶ AIMMS (Advanced Interactive Multidimensional Modeling System)
- ▶ CPLEX Optimization Studio
- ▶ Solveur LINDO

Structuration de la recherche académique : le GRD ROD

Exemples de travaux en RO à FEMTO-ST

Quelques travaux à FEMTO-ST en RO

- ▶ Approche optimale du calcul des clés de répartition dans une opération d'autoconsommation collective – [Jean-Marc Nicod](#)
- ▶ Optimisation de la dose en curiethérapie – [Karine Deschinkel](#)
- ▶ Ordonnancement de travaux flexibles dans un datacenter sous contraintes énergétiques – [Laurent Philippe](#)
- ▶ Conception de métaheuristiques : Influence du codage et du voisinage sur les performances des métaheuristiques - application à l'ordonnancement d'atelier – [Julien Bernard](#)
- ▶ Optimisation de tournées de véhicules : cas de la logistique urbaine – [Hervé Manier](#)
- ▶ Spinoff VERSO-OPTIM : Optimisation de tournées de véhicules – [Jean-Marc Nicod](#)

Approche optimale du calcul des clés de répartition dans une opération d'autoconsommation collective

Fatma Blagui, Marwa Haddad, Jean-Marc Nicod et Christophe Varnier

FEMTO-ST 4 avril 2024

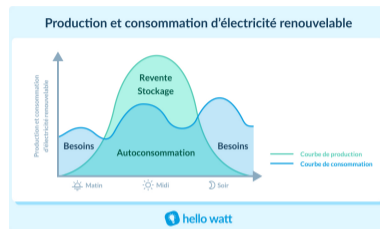


Qu'est-ce que l'autoconsommation collective ACC



- ▶ Produire et de consommer de l'électricité en groupe dans un même périmètre
 - ▶ 114 opérations fin 2022
 - ▶ 1500 membres
 - ▶ 6 MW installés

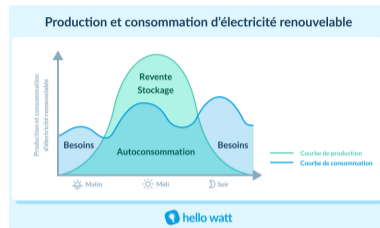
Qu'est-ce que l'autoconsommation collective ACC



- ▶ Produire et de consommer de l'électricité en groupe dans un même périmètre
 - ▶ 114 opérations fin 2022
 - ▶ 1500 membres
 - ▶ 6 MW installés

- ▶ Énergie renouvelables = intermittence
- ▶ Répartition de l'énergie entre les participants au moment de la production

Qu'est-ce que l'autoconsommation collective ACC



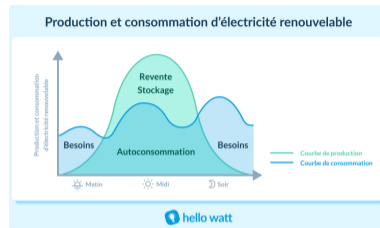
- ▶ Produire et de consommer de l'électricité en groupe dans un même périmètre

- ▶ 114 opérations fin 2022
- ▶ 1500 membres
- ▶ 6 MW installés

- ▶ Énergie renouvelables = intermittence
- ▶ Répartition de l'énergie entre les participants au moment de la production

➔ Quels avantages économique à participer à l'ACC ?

Qu'est-ce que l'autoconsommation collective ACC



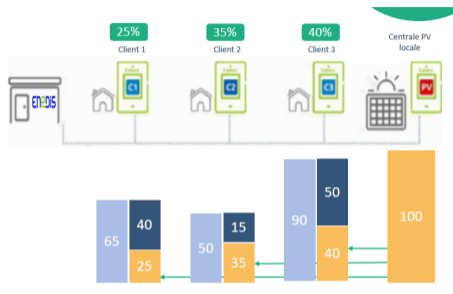
▶ Produire et de consommer de l'électricité en groupe dans un même périmètre

- ▶ 114 opérations fin 2022
- ▶ 1500 membres
- ▶ 6 MW installés

- ▶ Énergie renouvelables = intermittence
- ▶ Répartition de l'énergie entre les participants au moment de la production

- ➔ Quels avantages économique à participer à l'ACC ?
- ➔ Comment se fait la répartition entre les participants ?

Qu'est-ce qu'une clé de répartition



Différentes clés de répartition

- ▶ **Clé statique** négociée à la signature du contrat
- ▶ **Clé dynamique opt.** calculée localement a posteriori chaque mois $\forall t$ avec $\Delta t = 30min$
- ▶ **Clé dynamique au prorata** calculée par Enedis en fonction de la consommation de chaque participant

Calcul des clés au prorata

Données

- ▶ horizon de production $\mathcal{H} = K\Delta t$ ($\Delta t = 30 \text{ min}$)
- ▶ \mathcal{P} l'ensemble des participants p ($p \in \mathcal{P}$)
- ▶ $D_{k,p}$ la demande du participant p à l'intervalle $k \in \llbracket 0, K - 1 \rrbracket$
- ▶ Epv_k l'énergie produite au temps k
- ▶ $C_{k,p}$ le coût de l'énergie pour p au temps k

Énergie allouées $e_{k,p} \forall p$ et $\forall k$

$$e_{k,p} = \begin{cases} \frac{D_{k,p}}{\sum_p D_{k,p}} \times Epv_k & \text{si } \leq D_{k,p} \\ D_{k,p} & \text{sinon} \end{cases}$$

Gain G pour le producteur

$$G = \sum_p \sum_k e_{k,p} \times C_{k,p}$$

Calcul des clés dynamiques optimales

→ Quelle répartition pour maximiser le gain du producteur ?

Calcul des clés dynamiques optimales

→ Quelle répartition pour maximiser le gain du producteur ?

Données

- ▶ horizon de production $\mathcal{H} = K\Delta t$ ($\Delta t = 30 \text{ min}$)
- ▶ \mathcal{P} l'ensemble des participants p ($p \in \mathcal{P}$)
- ▶ $D_{k,p}$ la demande du participant p à l'intervalle $k \in \llbracket 0, K - 1 \rrbracket$
- ▶ Epv_k l'énergie produite au temps k
- ▶ $C_{k,p}$ le coût de l'énergie pour p au temps k

Variables

- ▶ $e_{k,p}$ l'énergie allouée au participant p au temps k
- ▶ G le gain du producteur

Calcul des clés dynamiques optimales

Écriture du problème sous la forme d'un programme linéaire

maximize G s.t.

$$\left\{ \begin{array}{l} G = \sum_p \sum_k e_{k,p} \times C_{k,p} \\ e_{k,p} \leq D_{k,p} \\ \sum_p e_{k,p} \leq E p v_k \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \forall k, p \\ \forall k \end{array}$$

Calcul des clés dynamiques optimales

Écriture du problème sous la forme d'un programme linéaire

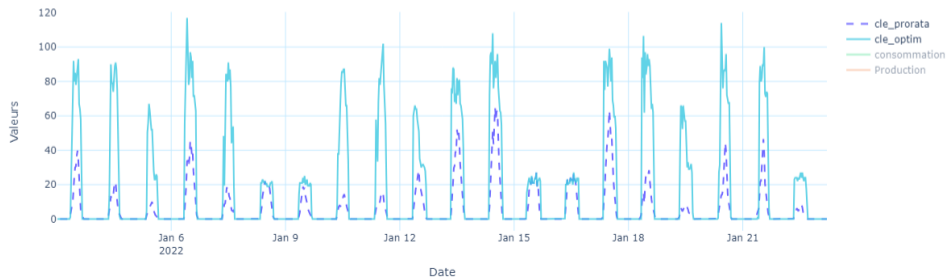
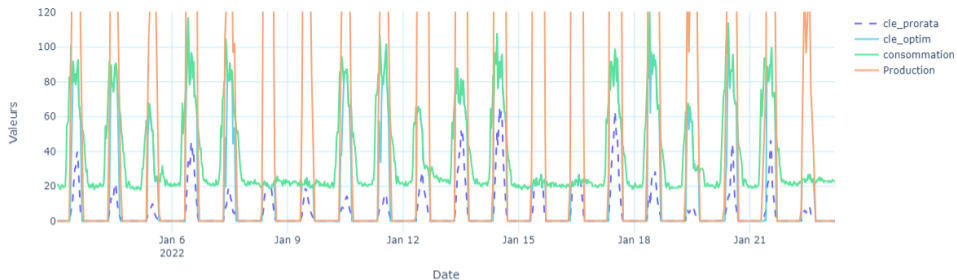
maximize G s.t.

$$\left\{ \begin{array}{l} G = \sum_p \sum_k e_{k,p} \times C_{k,p} \\ e_{k,p} \leq D_{k,p} \\ \sum_p e_{k,p} \leq E p v_k \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \forall k, p \\ \forall k \end{array}$$

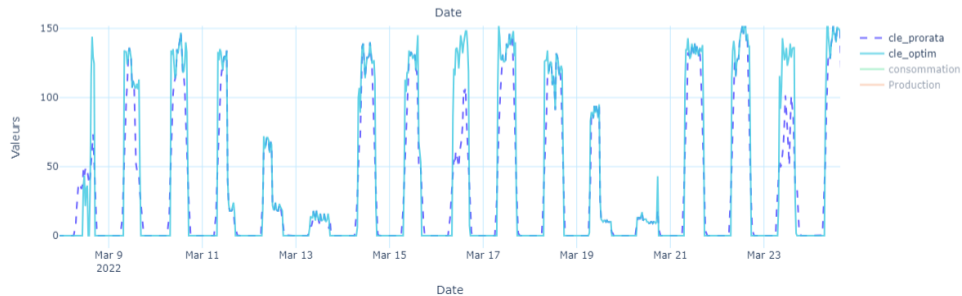
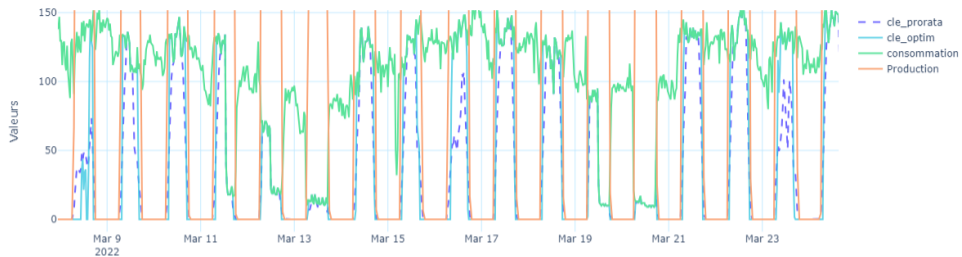
➔ La résolution gloutonne est optimale

- ▶ Le problème est une variante du problème du [sac à dos fractionnaire](#)
- On sert le mieux possible les participants qui rapportent le plus
- On équilibre l'énergie entre les participants de la dernière catégorie servie pour des raisons d'équité

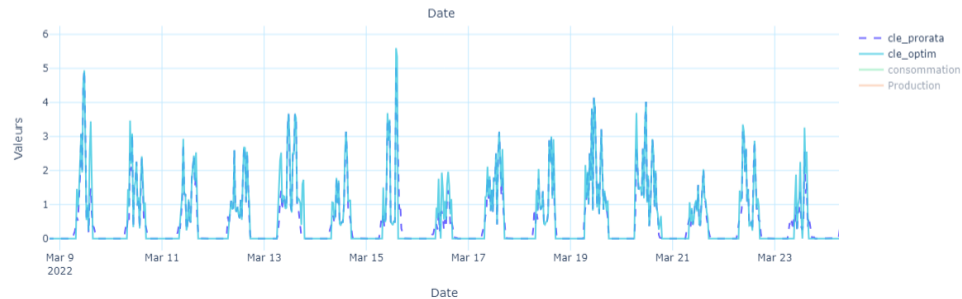
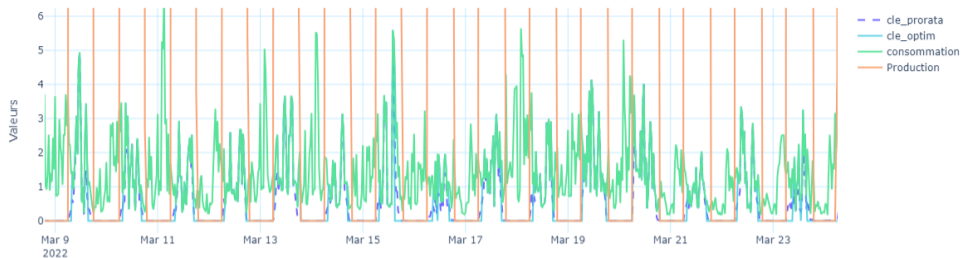
Résultats pour les « petits » consommateurs



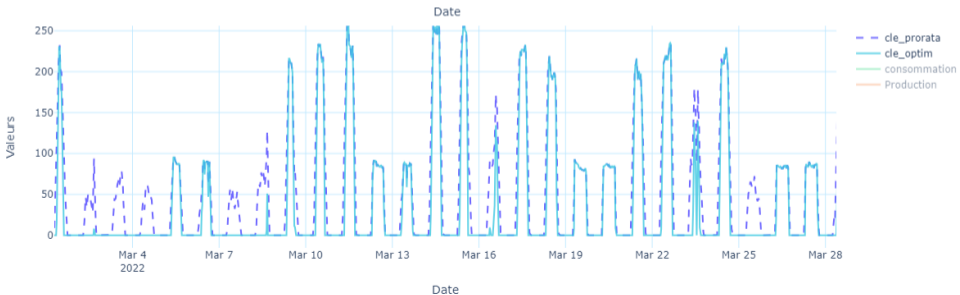
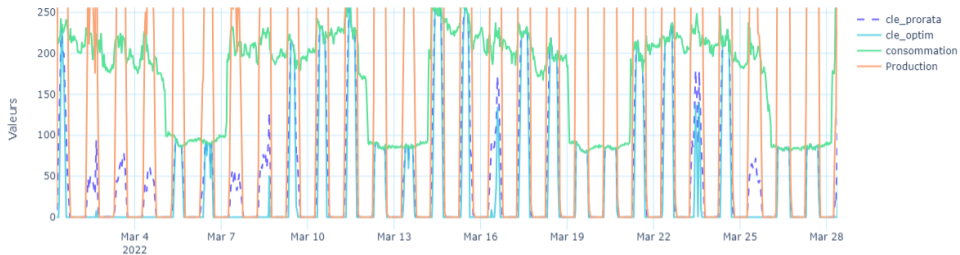
Résultats pour les consommateurs « moyens »



Résultats pour les consommateurs « privés »



Résultats pour les « gros » consommateurs



Conclusion

Stage de master 2

- ▶ Première modélisation du problème
- ▶ Nombreuses traces de consommation
- ▶ Mise en œuvre d'une nouvelle stratégie de répartition
- ▶ Implémentation opérationnelle du calcul de répartition de l'énergie

Perspectives

- ▶ Essais d'autres stratégie pour le calcul des clés de répartition
- ▶ Incitation à consommer pendant les heures de production
 - ▶ pilotage d'appareil électrique à distance chez le producteur
 - ▶ Incitation financière
 - ▶ Intérêt ou pas à stocker l'énergie non consommée

Optimisation de la dose en curiethérapie

Karine Deschinkel

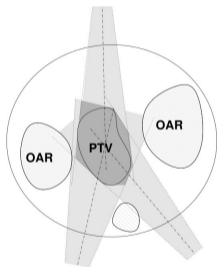
FEMTO-ST 4 avril 2024

Contexte

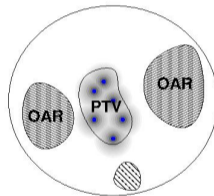
- ▶ Thèse F.Galéa (2003-2006) : Problèmes d'optimisation en curiethérapie
- ▶ Partenaire : Gilbert Boisserie, de l'Unité de Physique du service de radiothérapie de l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière à Paris

Objectif

Irradier convenablement la tumeur et protéger les organes à risques



La radiothérapie externe



La curiethérapie

Deux sortes de curiethérapie

- ▶ Curiothérapie à bas débit de dose (LDR) cas de la prostate : sources ponctuelles d'iode 125
- ▶ Curiothérapie à haut débit de dose (HDR) et à débit de dose pulse (PDR)
 - ▶ utilisation d'une seule source d'iridium 192
 - ▶ déplacement à l'intérieur de cathéters/vecteurs
 - ▶ arrêt sur différentes positions pour des temps déterminés

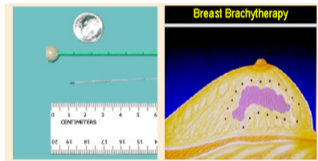
Débit de dose reçu en point i à partir d'une source en position j

$$d(i, j) = \lambda S_k \phi_{ang}(\text{dist}(i, j)) / \text{dist}(i, j)^2,$$

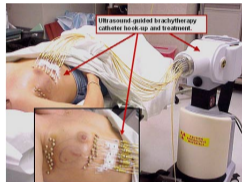
Dose reçue en i par une source s'arrêtant un temps t_j en position j

$$d(i) = \sum_{j \in J} d(i, j) \cdot t_j.$$

Exemple : traitement du cancer du sein



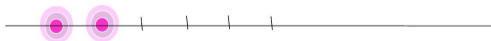
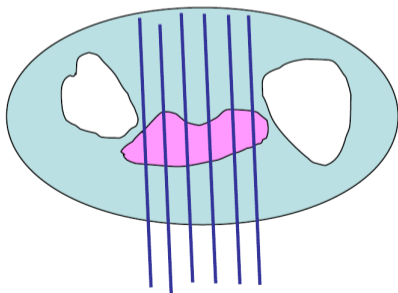
Traitement LDR



Traitement HDR

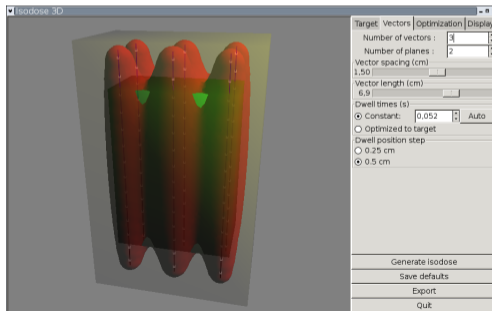
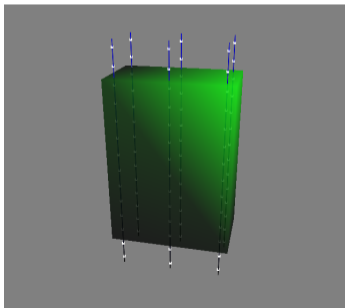
Processus de traitement HDR

1. Localiser le volume cible (imagerie 3D) ;
2. **Déterminer un bon schéma d'implantation pour les vecteurs ;**
3. Placer les vecteurs ;
4. Détecter les positions d'arrêt possibles pour les sources radioactives ;
5. **Calculer les temps d'arrêt ;**
6. Appliquer le traitement.



Outil de placement des cathéters

- ▶ Respect des règles du système de Paris (1960)
- ▶ Traitement de volumes géométriques simples (1 ou 2 plans de vecteurs)
- ▶ Vecteurs parallèles et équidistants d'une distance δ
- ▶ Intégration à un logiciel de visualisation de la couverture du volume cible par la dose requise selon différentes valeurs de paramètres (écartement des vecteurs, positions et temps d'arrêt optimisés)



Modèle de calcul des temps d'arrêt

Données :

- ▶ P ensemble des points de calcul, H ensemble des points de surdosage

Variables :

Modèle de calcul des temps d'arrêt

Données :

- ▶ P ensemble des points de calcul, H ensemble des points de surdosage
- ▶ $d(i, j)$: contribution de débit dose d'une source placée à la position d'arrêt j (J ensemble des points d'arrêt possibles) sur le point i

Variables :

Modèle de calcul des temps d'arrêt

Données :

- ▶ P ensemble des points de calcul, H ensemble des points de surdosage
- ▶ $d(i, j)$: contribution de débit dose d'une source placée à la position d'arrêt j (J ensemble des points d'arrêt possibles) sur le point i
- ▶ $\underline{D}_i, \overline{D}_i$: bornes inférieure et supérieure de dose sur le point i

Variables :

Modèle de calcul des temps d'arrêt

Données :

- ▶ P ensemble des points de calcul, H ensemble des points de surdosage
- ▶ $d(i, j)$: contribution de débit dose d'une source placée à la position d'arrêt j (J ensemble des points d'arrêt possibles) sur le point i
- ▶ $\underline{D}_i, \overline{D}_i$: bornes inférieure et supérieure de dose sur le point i
- ▶ α_i, β_i : pénalités liées aux dépassements de bornes au point i

Variables :

Modèle de calcul des temps d'arrêt

Données :

- ▶ P ensemble des points de calcul, H ensemble des points de surdosage
- ▶ $d(i, j)$: contribution de débit dose d'une source placée à la position d'arrêt j (J ensemble des points d'arrêt possibles) sur le point i
- ▶ $\underline{D}_i, \overline{D}_i$: bornes inférieure et supérieure de dose sur le point i
- ▶ α_i, β_i : pénalités liées aux dépassements de bornes au point i

Variables :

- ▶ t_j : temps d'arrêt sur la position j

Modèle de calcul des temps d'arrêt

Données :

- ▶ P ensemble des points de calcul, H ensemble des points de surdosage
- ▶ $d(i, j)$: contribution de débit dose d'une source placée à la position d'arrêt j (J ensemble des points d'arrêt possibles) sur le point i
- ▶ $\underline{D}_i, \overline{D}_i$: bornes inférieure et supérieure de dose sur le point i
- ▶ α_i, β_i : pénalités liées aux dépassements de bornes au point i

Variables :

- ▶ t_j : temps d'arrêt sur la position j
- ▶ u_i, v_i : dépassements de borne inférieure et supérieure au point de référence i

Modèle de calcul des temps d'arrêt

Données :

- ▶ P ensemble des points de calcul, H ensemble des points de surdosage
- ▶ $d(i, j)$: contribution de débit dose d'une source placée à la position d'arrêt j (J ensemble des points d'arrêt possibles) sur le point i
- ▶ $\underline{D}_i, \overline{D}_i$: bornes inférieure et supérieure de dose sur le point i
- ▶ α_i, β_i : pénalités liées aux dépassements de bornes au point i

Variables :

- ▶ t_j : temps d'arrêt sur la position j
- ▶ u_i, v_i : dépassements de borne inférieure et supérieure au point de référence i

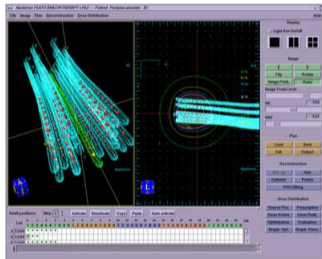
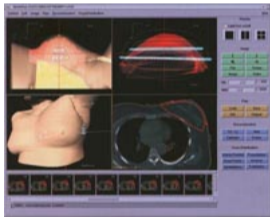
$$\left\{ \begin{array}{ll} \min & \sum_{i \in P} \alpha_i u_i + \beta_i v_i \\ \text{sous :} & \sum_{j \in J} d(i, j) \cdot t_j + u_i \geq \underline{D}_i \quad \forall i \in P \\ & \sum_{j \in J} d(i, j) \cdot t_j - v_i \leq \overline{D}_i \quad \forall i \in P \\ & \sum_{j \in J} d(h, j) \cdot t_j \leq 2 \quad \forall h \in H \\ & u_i, v_i \geq 0 \quad \forall i \in P \\ & t_j \geq 0 \quad \forall j \in J \end{array} \right.$$

Dose reçue au point i (pointing to the first constraint)

Dose inférieure et supérieure (pointing to the second and third constraints)

Et après ?

- ▶ dépôt logiciel sous licence GNU Isodose3D
- ▶ autres outils logiciels commercialisés



Discussion : la RO comme groupe ou axe de recherche à
FEMTO-ST ?