

# OPTIMISATION DISCRÈTE

## Introduction

# Plan

- ❑ Deux problèmes à résoudre
- ❑ Lien IA / Optimisation Discrète
- ❑ Optimisation Discrète et Complexité
- ❑ Modélisation
- ❑ Résolution
- ❑ Recherche scientifique
- ❑ Conclusion

# Deux problèmes à résoudre

## □ **Problème de conception d'itinéraires touristiques**

- Horizon de planification de plusieurs jours
- Un ensemble d'hôtels avec un hôtel de départ et d'arrivée identifié
- Un ensemble de POIs (Point of Interest)
  - Un score
  - Une fenêtre de temps
  - (Une durée de visite)
- Une matrice de distances
- Une durée maximale de trajet par jour

# Deux problèmes à résoudre

## □ Problème de conception d'itinéraires touristiques

### ■ Contraintes

- Chaque jour, un itinéraire doit commencer par un hôtel et finir à un hôtel
- Chaque itinéraire a une durée limite

### ■ Objectif du problème :

- Trouver un itinéraire pour chaque jour en maximisant la somme des scores des POIs visités

### ■ => EXEMPLE AU TABLEAU

# Deux problèmes à résoudre

## □ **Problème de conception d'emploi du temps d'infirmier/infirmière**

- Horizon de planification de plusieurs semaines
- Un nombre de type de « quart de travail » avec pour chaque :
  - Un nombre de minutes
  - Un ensemble de type de quart de travail qui ne peut pas être assigné par la suite
- Un nombre cible de personne requise pour chaque quart de travail et chaque jour
- Un nombre fixe d'infirmier/infirmière avec pour chaque :
  - Un ensemble de jour de congés identifiés
  - Un nombre maximum et minimum de minutes de travail sur l'horizon
  - Un nombre maximum et minimum de quart de travail consécutif assigné sur l'horizon
  - Un nombre maximum de WE de travail sur l'horizon
  - Un nombre minimum de jours de repos consécutif
- Et pour chaque quart de travail et chaque personne :
  - Un nombre maximum assignable de ce quart de travail à cette personne

# Deux problèmes à résoudre

## □ **Problème de conception d'emploi du temps d'infirmier/infirmière**

### ■ Les contraintes :

- Chaque personne peut faire qu'un seul quart de travail par jour
- Certains quarts de travail ne peuvent pas se succéder
- Respecter le nombre maximum de quart de travail assignable à une personne
- Respecter le maximum et minimum du total des minutes travaillées pour chaque personne
- Respecter le nombre maximum et minimum de quart de travail consécutif
- Respecter le nombre minimum de jours de repos consécutif
- Respecter les jours de congé
- Respecter le nombre maximum de jour de travail le WE (samedi ou dimanche)

# Deux problèmes à résoudre

## □ Problème de conception d'emploi du temps d'infirmier/infirmière

### ■ Objectif du problème :

- Assigner chaque personne à des quarts de travail durant l'horizon de planification afin de cibler correctement le nombre de personnes requises sur chaque quart et de prendre en compte des préférences de chaque personne.
- Utilisation d'une somme pondérée avec :
  - Un poids pour chaque personne travaillant en plus sur un quart de travail et un jour donné
  - Un poids pour chaque personne manquante sur un quart de travail et un jour donné
  - Un poids pour chaque préférence d'une personne à vouloir un quart de travail à un jour donné
  - Un poids pour chaque préférence d'une personne à ne pas vouloir un quart de travail à un jour donné

### ■ => EXEMPLE AU TABLEAU

# Deux problèmes à résoudre

- ❑ **Réaliser un ou plusieurs algorithmes pour résoudre l'un des deux problèmes**
  - Papier – crayon, au boulot !



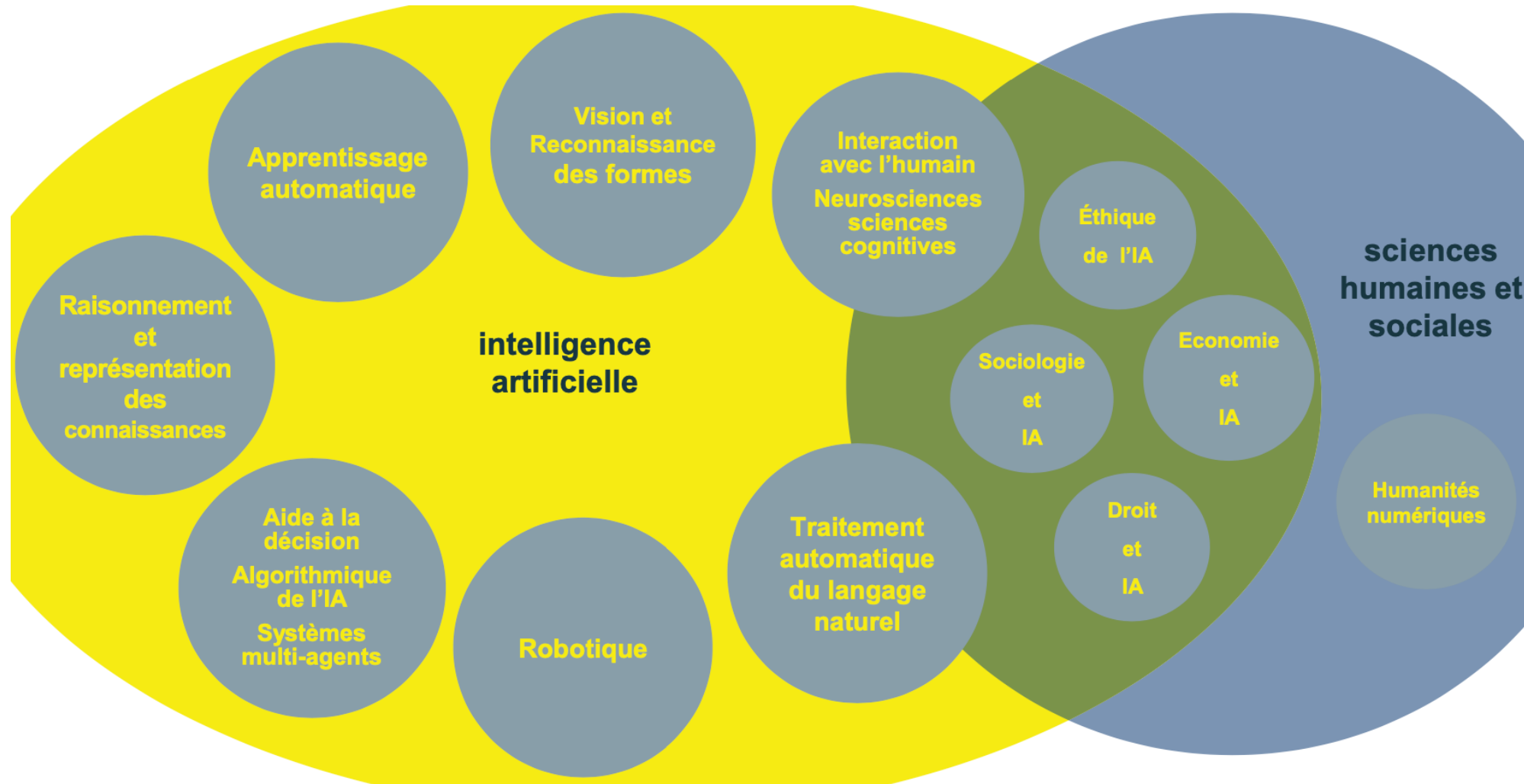
# Concevoir un tel algorithme, ...

- A. **c'est trop facile !**
- B. **pas simple mais avec plus de temps c'est largement faisable.**
- C. **difficile, je ne vois pas trop comment m'y prendre.**
- D. **Impossible et ça ne m'intéresse pas.**

# Lien I.A. / Optimisation Discrète

- ❑ << *Ensemble de théories et de techniques mises en œuvre en vue de réaliser des machines capables de simuler l'intelligence humaine.* >> Larousse, Janv 2020.
- ❑ I.A. un aspect marketing/communication/vente...
- ❑ « Rapport de synthèse - France Intelligence Artificielle » Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, 2017.

# Lien I.A. / Optimisation Discrète



# Lien I.A. / Optimisation Discrète

IA et SHS	Représentation des connaissances	Apprentissage automatique	Traitement automatique des langues	Vision et Reconnaissance des formes	Robotique	Neurosciences, Sciences cognitives	Algorithmique de l'IA	Aide à la décision	Systèmes multi-agents	Interaction avec l'humain
Ethique de l'IA	Bases de connaissances	Apprentissage supervisé / non-supervisé / séquentiel et par renforcement	Analyse syntaxique Lexiques Discours	Parole Vision	Conception Perception	Compréhension et stimulation du cerveau et du système nerveux	Program- mation logique et ASP	Théorie des jeux	Coordination Multi-Agents (Planification multi-agents, Décision multi-agents)	Interaction avancée, apprentissage humain
Droit et IA	Extraction et nettoyage de connaissances	Optimisation	(Interaction, Connaissances et Langage Naturel)	Reconnaissance d'objets	Décision		Déduction, preuve	Décision		
Economie et IA		Méthodes bayésiennes	Traduction automatique	Reconnaissance d'activités	Action	Sciences cognitives	Théories SAT et Satisfaction de contraintes	Gestion de l'incertitude	Résolution Distribuée de Problèmes	Agents conversationnel
Sociologie et IA	Inférence	Réseaux de neurones ou neuronaux		Recherche dans des banques d'images et de vidéos	Interactions avec les robots				Apprentissage multi-agents	
Humanités numériques	Web sémantique	Méthodes à noyau		Reconstruction 3D et spatio-temporelle	Flottes de robots			Explicabilité	Ingénierie Multi-Agents (Langages, plateformes, méthodologies)	Chatbots
	Ontologies	Apprentissage profond		Suivi d'objets et analyse des mouvements	Apprentissage des robots		Raisonnement causal, temporel, incertain			
		Fouille de données		Localisation d'objets	Cognition pour la robotique et les systèmes		Recherche heuristique		Simulation Multi-Agents (intéresse aussi les SHS)	
		Analyse de données massives		Asservissement visuel	Véhicules autonomes		Planification et ordonnancement			

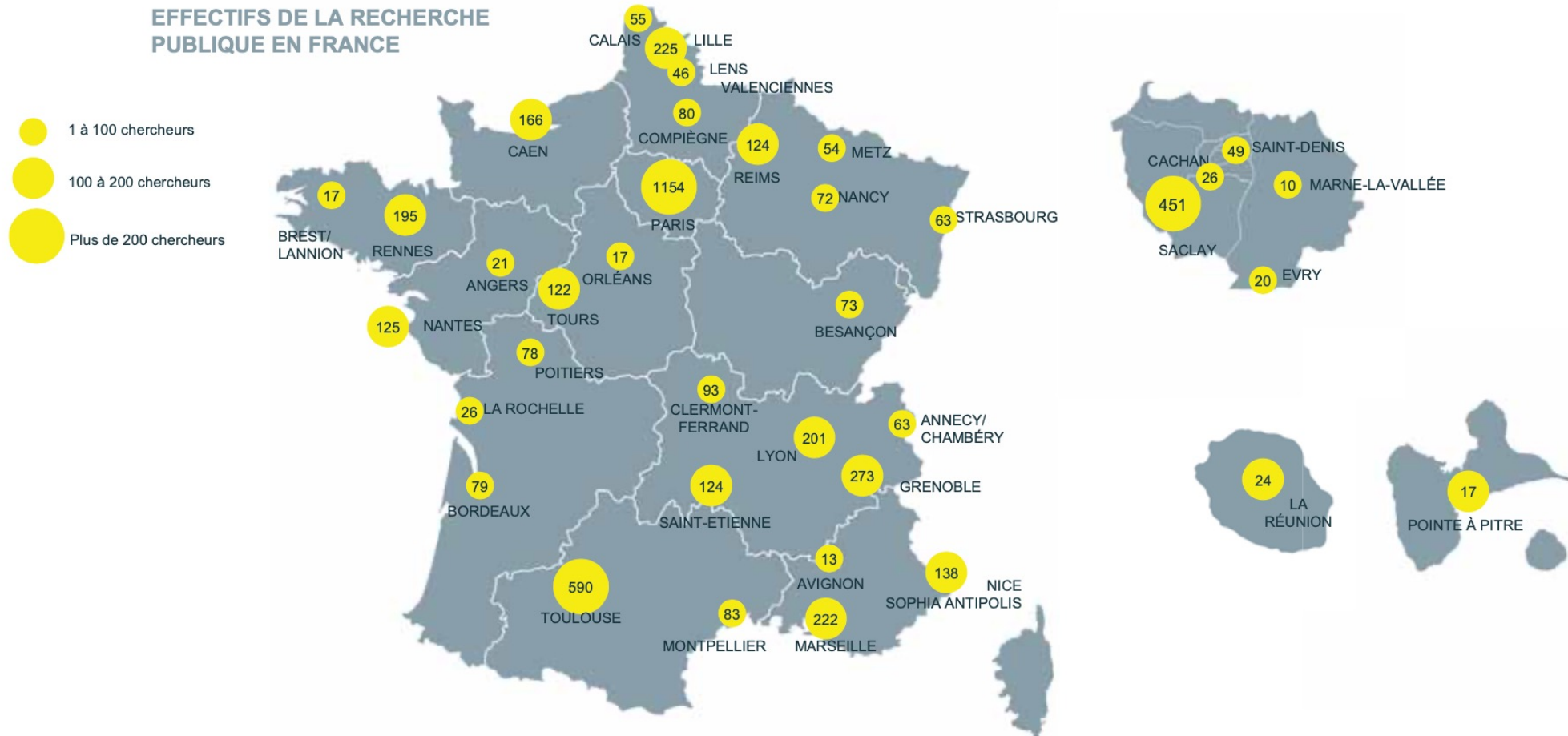
# Lien I.A. / Optimisation Discrète

IA et SHS	Représentation des connaissances	Apprentissage automatique	Traitement automatique des langues	Vision et Reconnaissance des formes	Robotique	Neurosciences, Sciences cognitives	Algorithmique de l'IA	Aide à la décision	Systèmes multi-agents	Interaction avec l'humain
Ethique de l'IA	Bases de connaissances	Apprentissage supervisé / non-supervisé / séquentiel et par renforcement	Analyse syntaxique Lexiques Discours	Parole Vision	Conception Perception	Compréhension et stimulation du cerveau et du système nerveux	Program- mation logique et ASP	Théorie des jeux	Coordination Multi-Agents (Planification multi-agents, Décision multi-agents)	Interaction avancée, apprentissage humain
Droit et IA	Extraction et nettoyage de connaissances	<b>Optimisation</b>	(Interaction, Connaissances et Langage Naturel)	Reconnaissance d'objets	Décision Action		Déduction, preuve	<b>Décision</b>		
Economie et IA		Méthodes bayésiennes	Traduction automatique	Reconnaissance d'activités	Interactions avec les robots	Sciences cognitives	Théories SAT et Satisfaction de contraintes	Gestion de l'incertitude	Résolution Distribuée de Problèmes	Agents conversationnel
Sociologie et IA	Inférence	Réseaux de neurones ou neuronaux		Recherche dans des banques d'images et de vidéos	Flottes de robots			Explicabilité	Apprentissage multi-agents	Chatbots
Humanités numériques	Web sémantique	Méthodes à noyau		Reconstruction 3D et spatio-temporelle	Apprentissage des robots		Raisonnement causal, temporel, incertain		Ingénierie Multi-Agents (Langages, plateformes, méthodologies)	
	Ontologies	Apprentissage profond		Suivi d'objets et analyse des mouvements	Cognition pour la robotique et les systèmes					
		Fouille de données		Localisation d'objets	Véhicules autonomes		<b>Recherche heuristique</b>		Simulation Multi-Agents (intéresse aussi les SHS)	
		Analyse de données massives		Asservissement visuel			<b>Planification et ordonnancement</b>			

# Lien I.A. / Optimisation Discrète



**Environ 5 300 chercheurs, partout en France,  
dans 268 équipes identifiées (dont 8% relevant des SHS)**



# On parle sérieusement de l'I.A. depuis quand...

- A. Ces dernières années (depuis 2010)
- B. Depuis 20 et 30 ans
- C. Depuis les années 1950
- D. Depuis le film TERMINATOR



# Optimisation Discrète et Complexité

## □ Optimisation Discrète

- Ou encore optimisation combinatoire
- Un mélange de l'informatique et l'optimisation en mathématiques
- Très fortement lié à la R.O., l'algorithmique et la théorie de complexité

## □ Pour un problème donné, trouver la meilleure solution parmi un (grand) nombre fini de solution possible.

- Un ou plusieurs critères
- Souvent difficile à caractériser la ou les solutions optimales
- Objectif : développer un algorithme (rapide) pour trouver ce ou ces solutions optimales (ou des « bonnes » solutions)

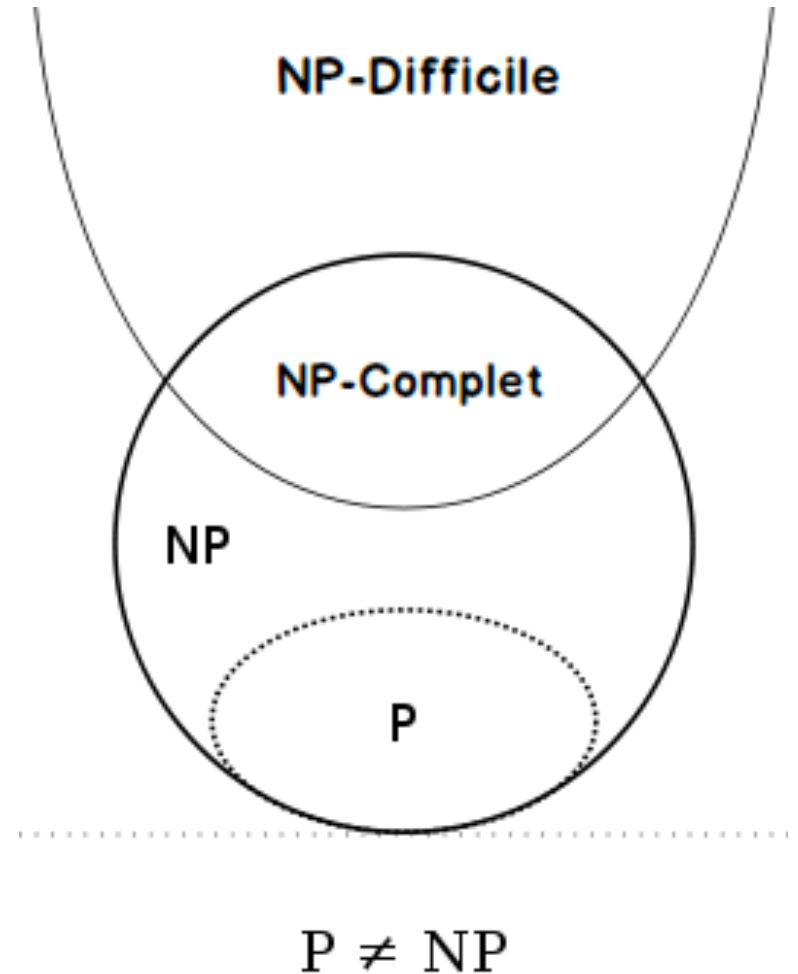
## □ Théorie de la complexité : savoir si un problème est (ou non) solvable efficacement par un ordinateur.



# Optimisation Discrète et Complexité

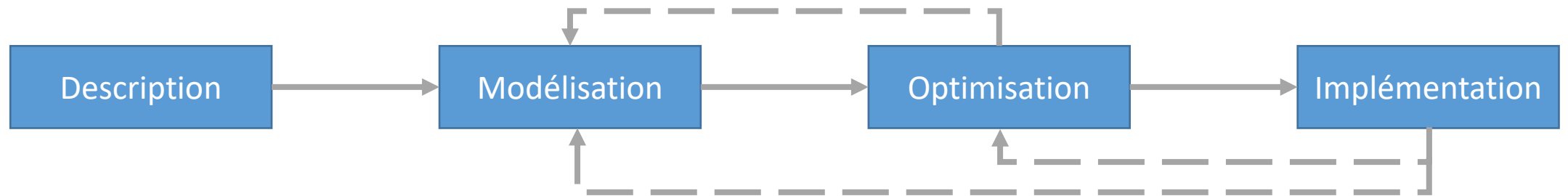
## □ Complexité d'un problème

- Cf. cours de complexité
- La classe de complexité d'un problème donne un indice sur le type de méthode à utiliser selon le contexte.



# Modélisation

□ Avant de résoudre, il faut modéliser...



□ Définir :

- Le type de problème (déterministe vs stochastique, statique vs dynamique, ...)
- Les données et leurs natures
- Les contraintes
- Les critères d'évaluation

# Résolution

- ❑ **De nombreuses techniques de R.O. existent pour développer des algorithmes pertinents, dont :**
  - L'étude de cas polynomiaux
  - La programmation mathématique (PL, PLNE, PPC, ...)
  - Les Graphes (plus court chemin, flot max à coût min, etc.)
  - Méthodes arborescentes
  - Programmation dynamique
  - Heuristique/Métaheuristique
  - ...
- ❑ **Méthode exacte VS méthode approchée**

# Cas de problèmes Polynomiaux

- ❑ La méthode de résolution (l'algorithme) doit normalement s'exécuter en temps polynomial
- ❑ Certains de ces problèmes peuvent être à la base d'autres problèmes plus complexe (ou des sous-problèmes)
- ❑ Exemple vu dans les cours précédents :
  - Plus court chemin
  - Flot max à coût min (ex au tableau : repositionnement d'ambulance)
  - PL (Simplexe)
  - ...
- ❑ D'autres exemples :
  - Problème d'ordonnancement :  $1 || \sum c_i$  ou  $1 || \sum u_i$  (ex au tableau)
  - ...

# Et la Recherche scientifique dans tout ça ?

- ❑ << **Une étude scientifique a montré que** >> ...
  - A interpréter avec prudence
  
- ❑ **Journaux et actes de conférences**
  - Des thématiques spécifiques
  - Où trouver : Google Scholar, sciencedirect, scopus, etc.
  - Indicateurs de qualités des journaux (Editeurs, I.P., etc.)
  - Processus de publication - peer-reviewed (révisé par des pairs)
  
- ❑ **Un articles**
  - Des auteurs
  - Un structure assez uniformisé
  - Des expérimentations parfois non concluantes ou délicates à interpréter

# Conclusion et suite du cours

## ❑ **Objectif du cours :**

- Une introduction à une sous branche de l'I.A. : l'optimisation discrète
- Connaître les méthodes de résolutions classiques en optimisation discrète
- Concevoir, implémenter tester et analyser une méthode de résolution

## ❑ **Contours du cours :**

- Problèmes déterministes et statiques
- Un seul critère
- Orienté métaheuristique

## ❑ **12h CM – 16h TP – 1 évaluation**

# Conclusion et suite du cours

## □ Plan du cours (prévisionnel) :

- Méthodes exactes (3h)
  - Utilisation de solveur
  - Méthode arborescente (ex. Branch & bound)
  - Programmation Dynamique
- Méthode approchée (5h)
  - Classification
  - Quelques heuristiques et garanties de performances
  - Notions importantes des métaheuristiques (intensification vs diversification, codage direct vs indirect, connexité/efficacité des opérateurs, etc.)
  - Parcours rapide des méthodes connues (recherche locale, recherche taboue, génétique, etc.)
  - Hybridations des méthodes
- Compléments (2h)
  - Générer des instances pour tester des méthodes
  - Tester et analyser (performance, stabilité, etc.)
  - Intégration de l'incertitude des données et adaptation au côté dynamique

# Conclusion et suite du cours

## □ Déroulement des TP et Evaluation

- Choisir un problème (parmi les 2) et l'étude
- Concevoir une méthode (ou plusieurs)
- Implémenter la méthode en C++ (ou en Python)
- Tester et analyser les résultats (75% de la note)
- Améliorer la méthode
- Re-tester et re-analyser les résultats
- Evaluation de votre travail : Orale + livrable (algo/code)



**Concours étudiant –  
IA/Optim**

## □ Critère d'évaluation

- Difficulté du problème
- Originalité/complexité de la méthode
- Campagne de tests réalisés
- Résultats obtenus sur 25% benchmark
- Packaging (clarté des explications, du code...).



# Votre sentiment

- A. **Cool, je sens que ça va me plaire**
- B. **Ca m'intéresse**
- C. **Sans opinion**
- D. **Pfff, je n'ai pas vraiment le choix**
- E. **Pourquoi j'ai choisi le parcours I.A....**