

A vertical decorative bar on the left side of the slide, transitioning from a dark blue top with a globe to a purple middle, and ending in a desert landscape at the bottom.

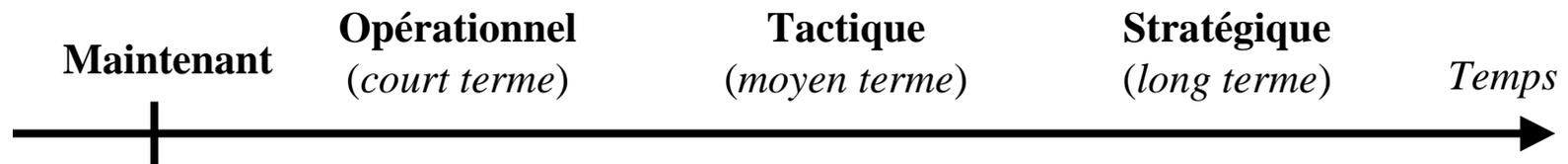
Problématiques industrielles d'optimisation combinatoire

Philippe Morignot

Sommaire

- Introduction
- Six petites histoires ...
- Comment détecter une problématique d'optimisation combinatoire ?
- Conclusion & Références

Taxonomie des applications



- * Ordonnancer une production industrielle de voitures
- * Construire des plannings de personnel.
- * Attribuer des places de parking à des avions.
- * Optimiser des tournées logistiques.
- * Planifier l'utilisation optimale de ressources rares (créneaux de pub, fours, emplacements pub).

- * Déterminer la localisation d'entrepôts, les ouvertures et fermetures d'exploitations minières.
- * Dimensionner une flotte aérienne en fonction des prévisions de trafic.

Partie I

Six petites histoires ...



Domaine aéroportuaire (I)

Contexte

- Le trafic aérien croît de 5% par an en moyenne.
 - Chaque compagnie aérienne dépose un plan de vol, résultant en tâches devant être assurées par le personnel au sol des aéroports à heures fixes.
- Dans les aéroports, le personnel au sol servant les avions est principalement en nombre fixe.
- Le superviseur a de plus en plus de mal à construire un planning quotidien (600 tâches, 150 agents).
- Le superviseur souhaite prévoir les plannings 6 mois à l'avance, et les rectifier au jour J (aléa météo).

Contexte (2)



Problématique

- Dire qui va faire quoi et quand.
- Problème multiforme :
 - Lisser et écrêter les tâches pour diminuer les pics de charge ;
 - Affecter les tâches sur les vacations
 - en minimisant le nombre de tâches désaffectées ;
 - en maximisant le nombre de tâches mobiles.
 - Augmenter l'équité sociale de chaque planning ;
 - Intégrer de nouvelles tâches issus d'aléas de dernière minute.
- Générer chaque planning en moins d'une minute.

Analyse

- Besoin déjà identifié (appel d'offre rédigé).
- Problème multiforme \Rightarrow diviser pour régner !
 - Faire le lissage/écrêtage en premier ;
 - Séparer l'affectation brute de l'augmentation des tâches mobiles ;
 - L'équité sociale est une combinaison linéaire de critères qualitatifs ;
 - Enchaîner les modules ;
- Techniques :
 - Programmation par contraintes ;
 - Programmation linéaire en nombres entiers (trop long !) ;
 - Méta-heuristique (méthode "tabou") ;
 - Algorithme de recherche dans un espace d'états : A*

Domaine aéroportuaire (II)

Contexte

- Le trafic aérien croît toujours de 5% par an en moyenne.
- 7000 vols départ par jour sur Orly et Roissy.
- Les ressources des aéroports sont limitées (e.g., aérogares, terminaux, banques, tapis bagage).
- Comment dimensionner les ressources des aéroports pour affecter des compagnies aériennes sur des aérogares de façon optimale ?

Problématique

- Planification stratégique et non opérationnelle.
- Les vols d'une compagnie sont décomposés en paquets.
- Attributs caractérisant un paquet et une aéroport.
- Contraintes légales (e.g., nb max. de mouvements/an), d'usage (e.g., couvre-feu, capacité des pistes d'envol).
- Placer 500 paquets de vols hebdomadaires sur une dizaine d'aéroports parisiennes.

Analyse

- Besoin déjà identifié et formalisé (appel d'offres rédigé).
- Type de problématique :
 - Affectation d'objets à des réceptacles
 - Sous contraintes ;
 - Avec une fonction de coût à minimiser.
- Technique de résolution:
 - Programmation linéaire en nombres entiers + méta-heuristique.
 - Mais la fonction de coût contient une division par une variable !
 - Programmation par contraintes + méta-heuristique.

Domaine hospitalier

Contexte

- Un organisme public a pour mission de vérifier périodiquement que les hopitaux publics sont aux normes françaises, afin de leur donner le droit d'exercer.
- La Cour des Comptes dans son rapport annuel 2003 fustige cet organisme, parce qu'il ne visite que 150 établissements par an, alors qu'il faudrait en visiter 600.
- Cet organisme public décide donc de faire faire un système informatique améliorant la fréquence des visites des hopitaux publics.

Problématique

- Cet organisme organise des visites d'hopitaux.
- Chaque visite est faite par un groupe d'experts-visiteurs.
- La formation d'un groupe d'experts-visiteurs obéit à une législation stricte, e.g. :
 - Non interférences ;
 - Un médecin senior, 1 ou 2 juniors, un technicien, une infirmière, ... ;
 - Règles de passage du statut de junior à celui de senior ;
- Contraintes “molles” :
 - Disponibilité des experts-visiteurs ;
 - Fenêtres de temps sur les visites.

Analyse

- Besoin déjà identifié (appel d'offre rédigé).
- Type de problématique :
 - Construction d'emploi du temps d'un expert-visiteur ;
 - Croisement des emplois du temps des experts-visiteurs pour former un groupe ;
 - Et ce pour tous les experts-visiteurs accrédités par l'organisme.
- Technique utilisable :
 - Programmation linéaire en nombres entiers.

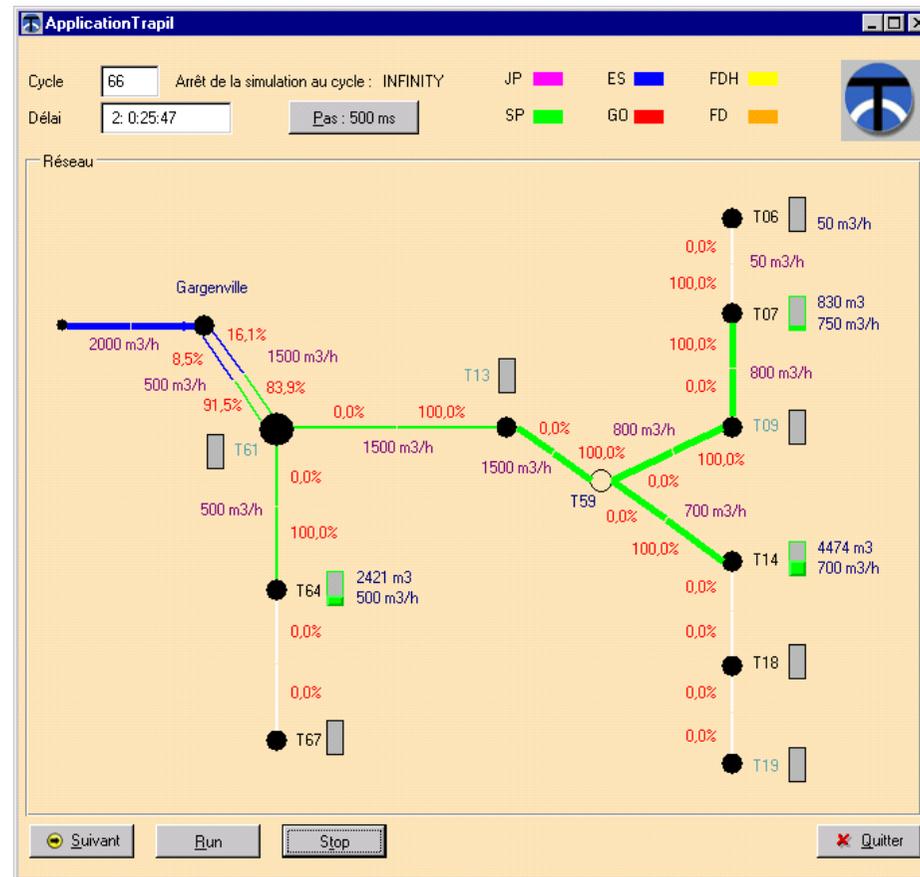
Domaine pétrolier



Contexte

- Une société semi-publique transporte du pétrole dans des pipelines depuis les raffineries jusqu'aux dépôts clients.
- Le réseau de pipelines est géré à la main et est saturé.
- Cette société a décidé d'utiliser un programme informatique pour l'aider à optimiser l'écoulement de pétrole dans ses pipelines.
- Mais a dépensé beaucoup d'argent auprès des SSII sans aucun résultat.

Contexte (2)



Problématique

- Plusieurs qualités de pétrole poussés successivement à la source du réseau.
 - Exemples : fioul (hiver), kérosène, gasoil, super, ...
- Cycle de produits de 12 jours.
- Règles d'évitement de mélange de produits.
- Chaque nœud terminal du réseau est un dépôt (capacité finie). Chaque tronçon a un débit min. et max.
- Trouver les débits/flôts/flux instantanées sur chaque tronçon du réseau de façon à minimiser la durée d'un cycle.

Analyse

- Problématique identifiée mais client craintif à cause de ses mauvaises expériences passées.
 - Embauche d'un ingénieur pour résoudre ce problème.
- 4 mois de développement gratuit d'une maquette.
 - Résultats : un cycle en 9 jours au lieu de 12.
- Peu de contraintes sur le temps de calcul.
- Techniques :
 - Algorithme de Ford & Fulkerson ;
 - Simulateur à événements discrets.

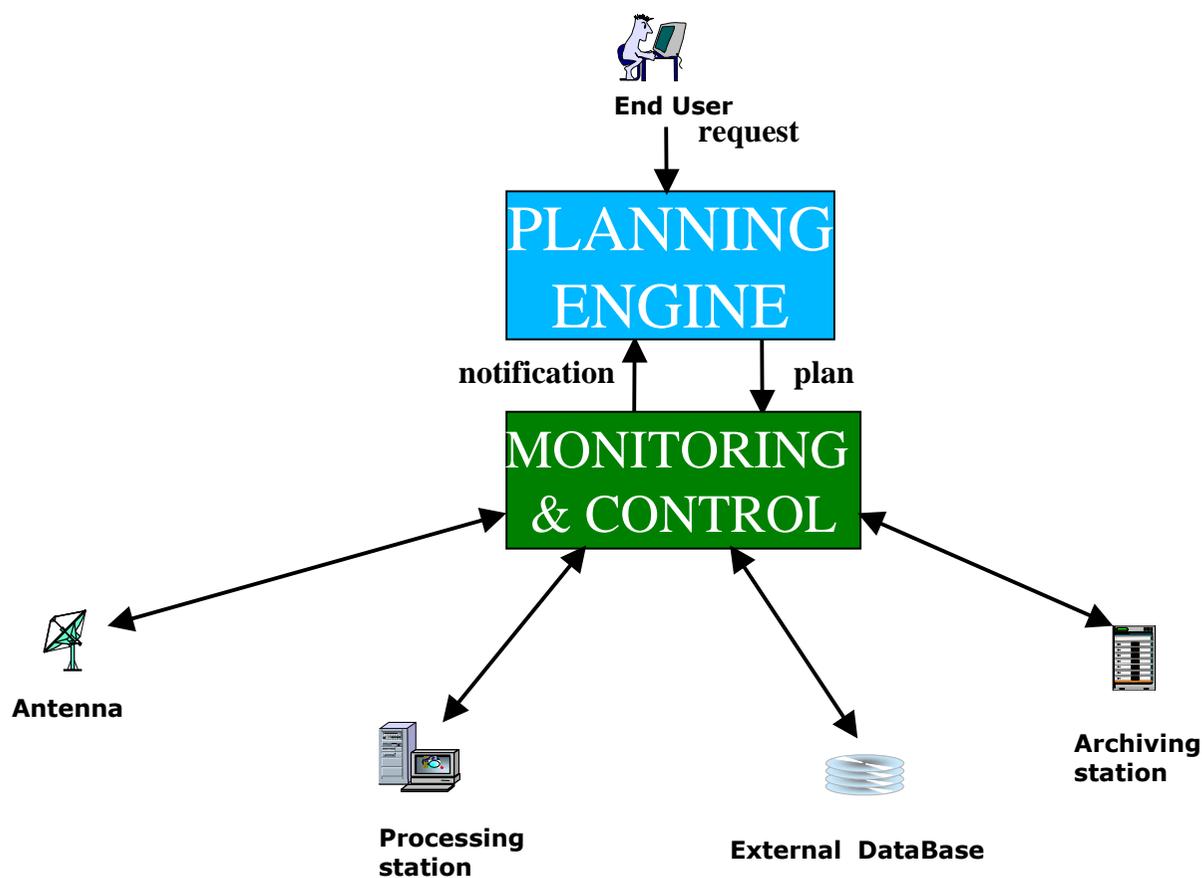
Domaine spatial



Contexte

- Les données issues de satellites sont précieuses.
 - prix faramineux d'un satellite ;
 - prix élevé du changement d'attitude ou d'orbite d'un satellite.
- Les stations radar au sol, recevant ces données, ont un nombre limité d'ordinateurs et de temps CPU.
- Améliorer les performances de l'acquisition et du traitement des données au sol.

Contexte (2)



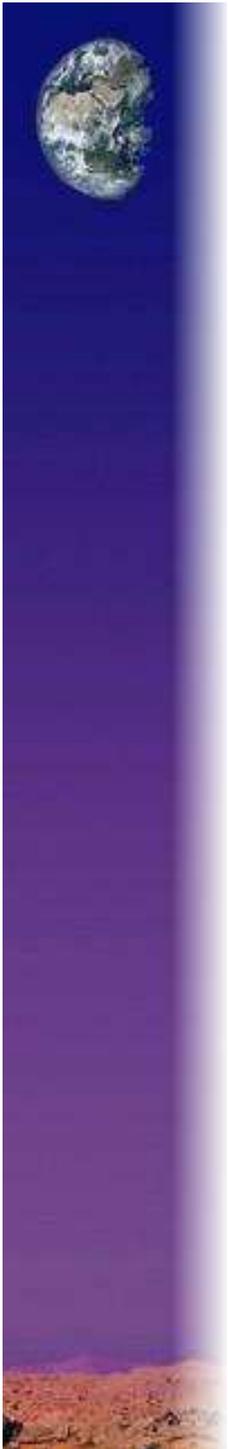
Problématique

- Une tâche (au sol) peut être une acquisition, un traitement, une communication BD ou un archivage.
- Contraintes temporelles :
 - Lorsque le satellite passe au dessus du radar, faire une acquisition.
- Des tâches, issues d'acquisition précédentes, sont déjà en cours de traitement parmi les ordinateurs au sol.
- Placer les nouvelles tâches parmi les tâches existantes, de façon à ne pas trop les retarder et à minimiser la consommation des ressources computationnelles.

Analyse

- Besoin déjà identifié (appel d'offre rédigé).
- Type de problématique : ordonnancement.
 - Labels, des durées, des relations de précédentes et des fenêtres de temps.
 - Les ressources sont le temps CPU et les ordinateurs.
- Peu de contraintes sur le temps de calcul.
- Techniques :
 - Programmation par contraintes ;
 - Méta-heuristiques.

Domaine aérien

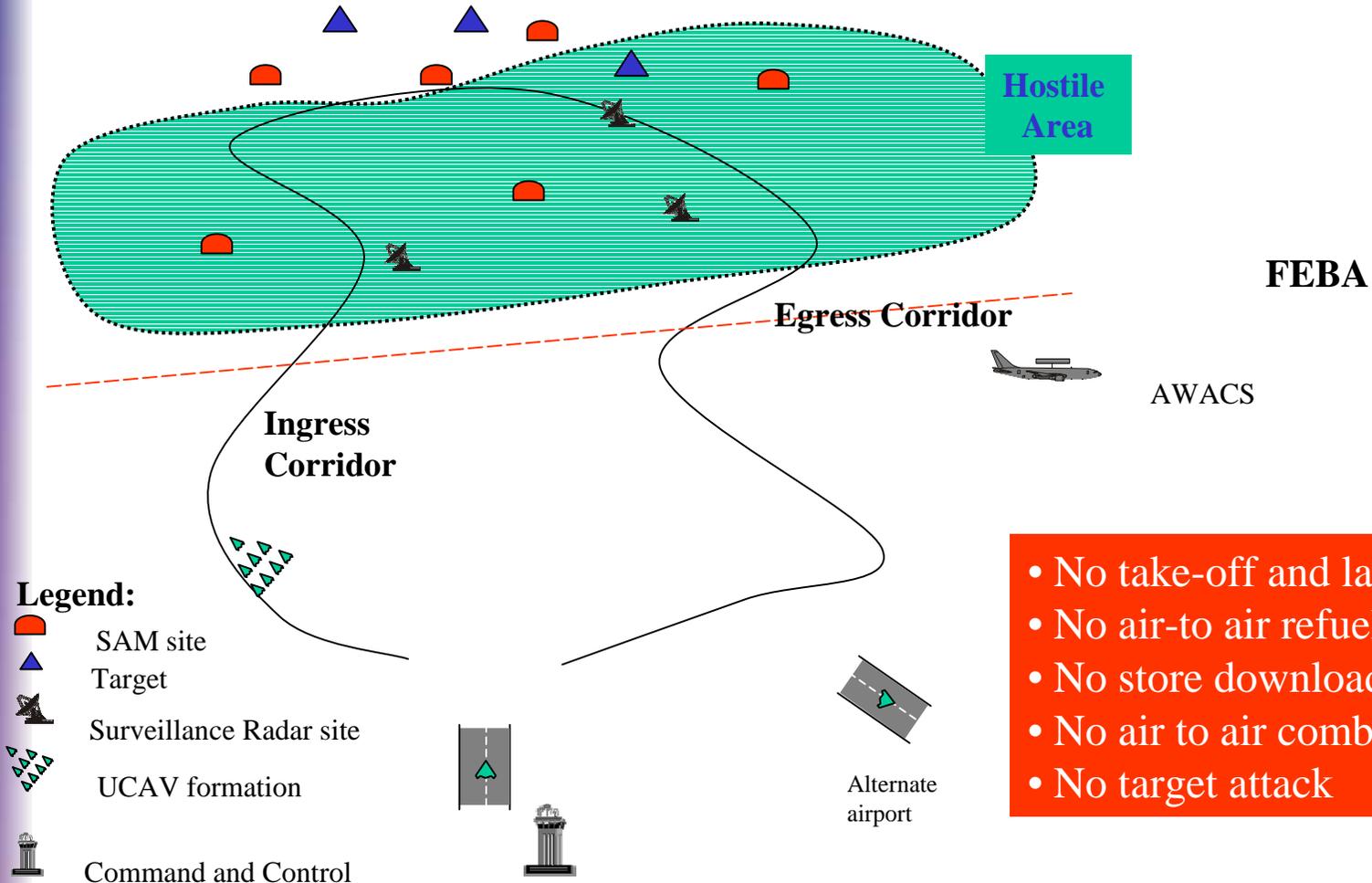


Contexte



- Un pilote d'avion de chasse est quelqu'un de très précieux (des années d'apprentissage et d'entraînement) et de faillible ("trou noir").
- Détruire des cibles peut s'avérer stratégique pour la survie d'un pays.
- Faire des avions de chasse pilotés par des ordinateurs.

Contexte (2)



- No take-off and landing
- No air-to air refuelling
- No store downloading area
- No air to air combat
- No target attack

Problématique

- Corridors de vol.
- Vol en formation, sauf pendant l'attaque.
- Simuler
 - les objets au sol (e.g., cibles, radars, missiles, base) ;
 - les organes de l'avion (e.g., communication, capteurs, effecteurs, loi de vol) ;
 - les règles de vol en formation (e.g., anti-collision, empreinte électromagnétique).
- Calculer à l'avance un chemin parmi les corridors possibles, et le modifier en cours de mission si besoin.
- Calculer en cours de route la trajectoire dans le corridor.

Analyse

- Besoin déjà identifié (appel d'offre rédigé).
- Type de problématique :
 - Agents autonomes : délibération et réaction.
 - Recherche dynamique d'un chemin dans un graphe (60 à 100 nœuds) sous contraintes dures ou cumulatives:
 - Le rayon de courbure d'un virage dépend de la vitesse ;
 - Ne pas larguer toutes ses bombes sur un radar intermédiaire pour en garder pour la cible principale ;
 - Avoir suffisamment de kérosène ;
 - Maximiser la probabilité de destruction des cibles et de survie de chaque avion.
- Techniques :
 - Programmation par contraintes.

Partie II

Comment détecter une problématique
d'optimisation combinatoire ?



Indices

- Des associations entre objets à trouver (des variables à instancier sur des valeurs/indices) ...
- ... sous contraintes ...
 - Dures : légales (e.g., 35 heures), règlementaires, accords entreprises, accords salariés, ...
 - Molles : préférences
- ... avec un coût à minimiser ou une qualité à maximiser
 - Coût économique, financier, temporel, ...
 - Qualité économique, sociale, ...

Questions à poser

- Si l'appel d'offre a déjà été rédigé :
 - Se ramener à des problématiques typiques ;
 - Exemple : ordonnancement, plus court chemin, affectation, flôt, ...
 - Décomposer le problème en éléments simples ;
 - Faut-il trouver l'optimum ou une "bonne" solution suffit-elle ?
 - Quel est le dimensionnement du problème ? (variables, relations, ...)
 - Y a-t-il un temps limite de calcul ? Si oui, quel est-il ?
- Si l'appel d'offre n'a pas encore été rédigé :
 - Quelles sont vos ressources critiques ?
 - Exemple : grues, personnel, trains, ...
 - Où sont les gros flux financiers (centres de coût, centres de profit) ?
 - Exemple : facture énergétique, espace de publicité, ...
- **Ne pas parler technique mais métier ! Rester en retrait !**

Pourquoi le client vous appelle

- Il ne s'en sort plus à la main.
 - Faire les calculs à la main prend trop de temps ;
 - Faire les calculs à la main est fastidieux (grand nombre d'objets).
- Il aimerait *remplacer* un expert (qui coûte cher) par un programme informatique (qui se rentabilise).
- Il aimerait faire *mieux* que l'expert (il croît en la Recherche) sans nécessairement reprendre sa méthode.
- Il aimerait *capitaliser* sur l'expertise de l'expert (comment faire s'il quittait la société ?).

Comment vendre l'optim. ?

- Un programme utilisant des techniques d'optimisation combinatoire coûte au minimum 150 000 € au client.
- Un programme utilisant des techniques d'optimisation combinatoire peut faire gagner de 1 à 10% des coûts d'un processus existant (géré à la main).
 - Caveat : ne pas prendre ces chiffres au pied de la lettre !
 - Valable pour des processus lourds ou fastidieux.
- Le retour sur investissement est donc certain et fort.
 - Un programme d'optimisation peut se rentabiliser en 6 mois.

Partie III

Conclusion



Techniques

- Recherche Opérationnelle :
 - Programmation linéaire
 - Programmation linéaire en nombres entiers
 - Algorithmes de flôt
 - ...
- Intelligence Artificielle :
 - Algorithmes de recherche dans un espace d'états
 - Méta-heuristiques : tabou et dérivés, recuit simulé, algorithmes génétiques, essais particuliers, algorithmes de fourmis, ...
 - Programmation par contraintes
 - ...

Industrie

- Editeurs de logiciels :
 - ILOG, ARTELYS (Dash-associates), COSYTEC, INOVIA, DELIA Systems, ...
- Service :
 - Dept. “conseil” d’ILOG, TempoSoft, EURODECISION, PACTE NOVATION, AXLOG Ingénierie, ...

L'optimisation en France

- La **théorie** de l'optimisation combinatoire est enseignées dans les Universités / Ecoles.
 - Livres, journaux, conférence internationales, ateliers (e.g., ROADEF).
- La **pratique** (e.g., choix de la technique, modélisation, mise au point) est tout aussi difficile.
 - C'est de l'ingénierie ;
 - Apprise sur le tas (e.g., stages à <http://www.axlog.fr>).
- Conditions réunies pour que ce domaine prospère en France.

Références

- **[Domaine aéroportuaire II]** P. Morignot, M. Ferhaoui, L. Pelerin, V. Rivière, L. Meunier, D. Raffault, A. Aminian. Optimiser l'affectation de paquets de vols à des aéroports. In *5^e Congrès de la Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision, ROADEF*, Avignon, février 2003.
- **[Domaine aérien]** C. Guettier, B. Allo, V. Legendre, J.-C. Poncet, N. Strady-Lécubin. Constraint Model-based Planning and Scheduling with Multiple Ressources and Complex Collaboration Schema. In *Proceedings of the Sixth International Conference on A.I. Planning and Scheduling (AIPS)*, Morgan Kaufman, San Mateo, CA, 2002, p. 183-194.
- **[Domaine aéroportuaire I]** P. Morignot, L. Somek, C. Miller, B. Gaudinat. Construire et Optimiser les Emplois du Temps d'Employés d'Aéroports. In *Actes des Journées Nationales sur la Résolution Pratique de Problèmes NP-complets*. ONERA, Toulouse, juin 2001, pages 209-219.