

# Approche à deux niveaux pour la planification réactive d'un partenaire d'une chaîne logistique

**H. Gharbi** <sup>1,2</sup> – **C. Mercé**<sup>1,3</sup> – **G. Fontan** <sup>1,4</sup> — **M. Moalla** <sup>2</sup>

<sup>1</sup> : LAAS-CNRS Toulouse

<sup>2</sup> : LIP2 Tunis

<sup>3</sup> : INSA Toulouse

<sup>4</sup> : INP Toulouse

## Plan de la présentation :

- 1- Contexte de l'étude
  - 2- Principes généraux de l'approche
  - 3- Choix de mise en œuvre
  - 4- Pistes pour l'expérimentation
- Conclusion et perspectives



*Laboratoire d'Analyse et d'Architecture  
des Systèmes de Toulouse*

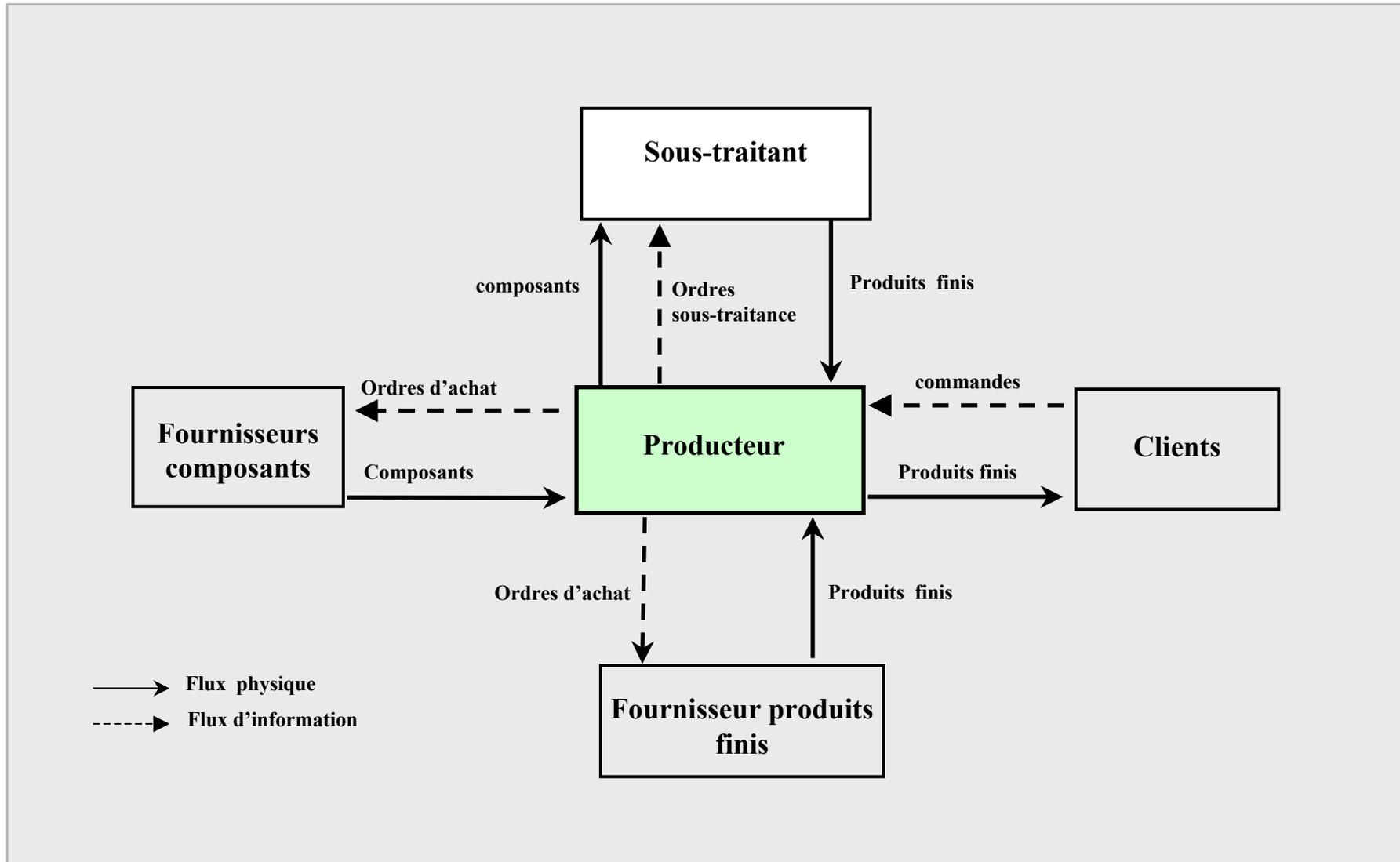


*Laboratoire d'Informatique, de Productique  
et de Parallélisme de Tunis*

## Contexte de l'étude

- **Caractéristiques des chaînes logistiques et de leur gestion**
  - Entités indépendantes
  - Partage d'informations / confidentialité / incertitudes
  - Compromis entre recherche de performances locales et de performances globales
  - Différents modes de pilotage : centralisé / décentralisé / hybride
  
- **Dans le cadre de ce travail**
  - Pilotage décentralisé
  - Planification d'un maillon en relation avec ses fournisseurs, clients, sous-traitants
  - Planification à moyen et court terme
  - Prise en compte de l'incertitude sur les paramètres (capacités, demandes, etc.)
  - Réactivité face aux aléas et aux incertitudes

## Contexte de l'étude



# Caractéristiques et enjeux de la planification

## ■ Complexité du système à planifier

- Nombreux éléments en interaction (produits et composants, ressources matérielles et humaines, clients, sous-traitants) avec caractéristiques diverses et variées
- Inertie du système de production (délais de production interne, de sous-traitance, d'approvisionnement, etc)
- Décisions de différentes natures avec des délais d'anticipation variés

## ■ Incertitude des données et Robustesse

- « Robustesse » des décisions ? Une décision prise sur la base d'une donnée incertaine est **robuste** si elle reste faisable pour toute « réalisation » de cette donnée

→ **Comment obtenir un plan robuste ?**

## ■ Réactivité

- Besoin d'une planification **réactive** permettant d'adapter dynamiquement le plan en fonction de **données actualisées** au fur et à mesure de leur disponibilité et **des aléas**
- Maîtrise de la nervosité du plan → stabilité imposée par les délais d'anticipation inhérents aux décisions

→ **Comment définir un processus de planification assurant la réactivité ?**

## Etat de l'art

- **Prise en compte de l'incertitude sur la demande**
  - Modèles stochastiques [Escudero et al., 1999], [Leung et al., 05]
  - Logique floue [Fargier et Thierry, 2000], [Grabot et al., 2005],
  - Planifications périodiques à horizon glissant [Zhao et Xie, 1998], [Telle, 2003], [Genin, 2003], [Galasso et al., 2006]
- **Nervosité et stabilité des décisions**
  - Approches MRP [Ho al., 1995]
  - Planification dans les chaînes logistiques [Genin, 2003], [Lamouri, 2006], [Genin et al., 2007],
- **Risques liés à l'incertitude** [Mahmoudi, 2006]
- **Agrégation et approche multiniveau** [Merce et Fontan, 2001]
  - Diminution de la complexité des modèles
  - Meilleure maîtrise de l'incertitude

## Principes généraux de l'approche retenue

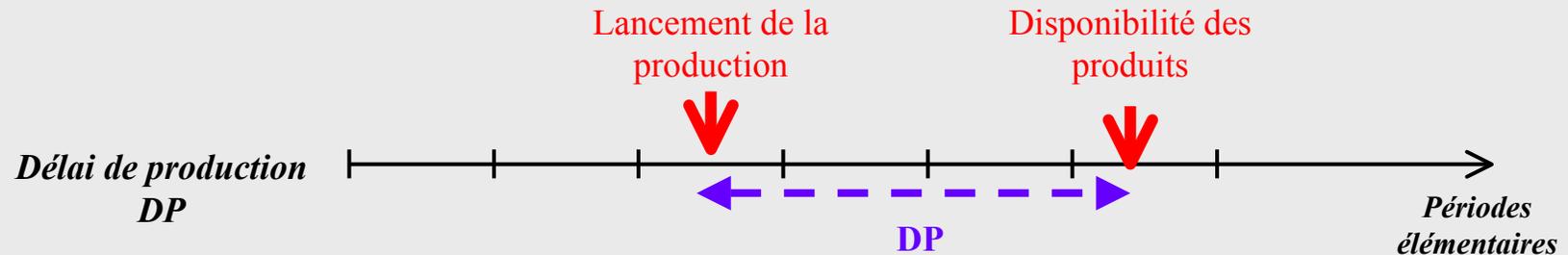
- **Deux niveaux de planification reliés par un plan de guidage**
- **Niveau supérieur**
  - Vision « agrégée » du système et de son environnement → Diminution de l'incertitude sur les données et de la complexité du modèle
  - Horizon à moyen terme → plan agrégé optimisé
- **Plan de guidage PG**
  - PG = ensemble d'informations élaborées à partir des décisions agrégées et transmises au niveau inférieur
  - Le PG fixe le cadre dans lequel travaille le niveau inférieur → Il définit l'**autonomie** du niveau inférieur
- **Niveau inférieur « réactif »**
  - Vision fine du système de production
  - Planification à court terme (basée sur données relativement fiables)
  - Re-planifications périodiques : la cohérence avec les décisions agrégées est assurée via le plan de guidage
  - Exploitation de l'autonomie **pour réagir aux aléas**

## Choix de mise en œuvre dans le cadre de cette étude

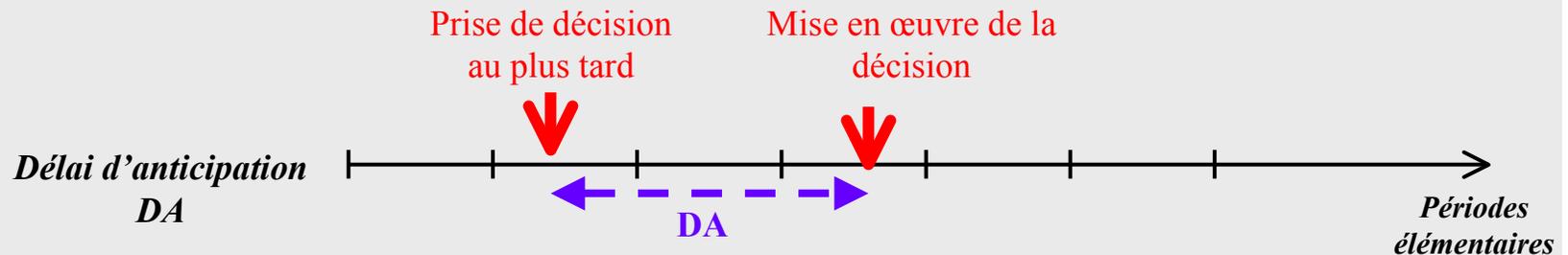
- On s'intéresse à la réactivité de la planification → attention particulière aux caractéristiques temporelles et à leur modélisation
  - Système de production
  - Système décisionnel
  
- Approche basée sur une **agrégation du temps**
  - Au niveau supérieur :
    - Horizon moyen terme décomposé en T **macro-périodes**
  - Au niveau inférieur :
    - Horizon court terme de TD macro-périodes ( $TD < T$ )
    - Une macro-période est décomposée en **périodes élémentaires**
    - Modélisation fine de l'**inertie** du système de production (délais de production, d'appro, etc.) et du système décisionnel (délais d'anticipation des décisions)

## Modélisation de l'inertie

### ■ Délais de production, de sous-traitance, etc.



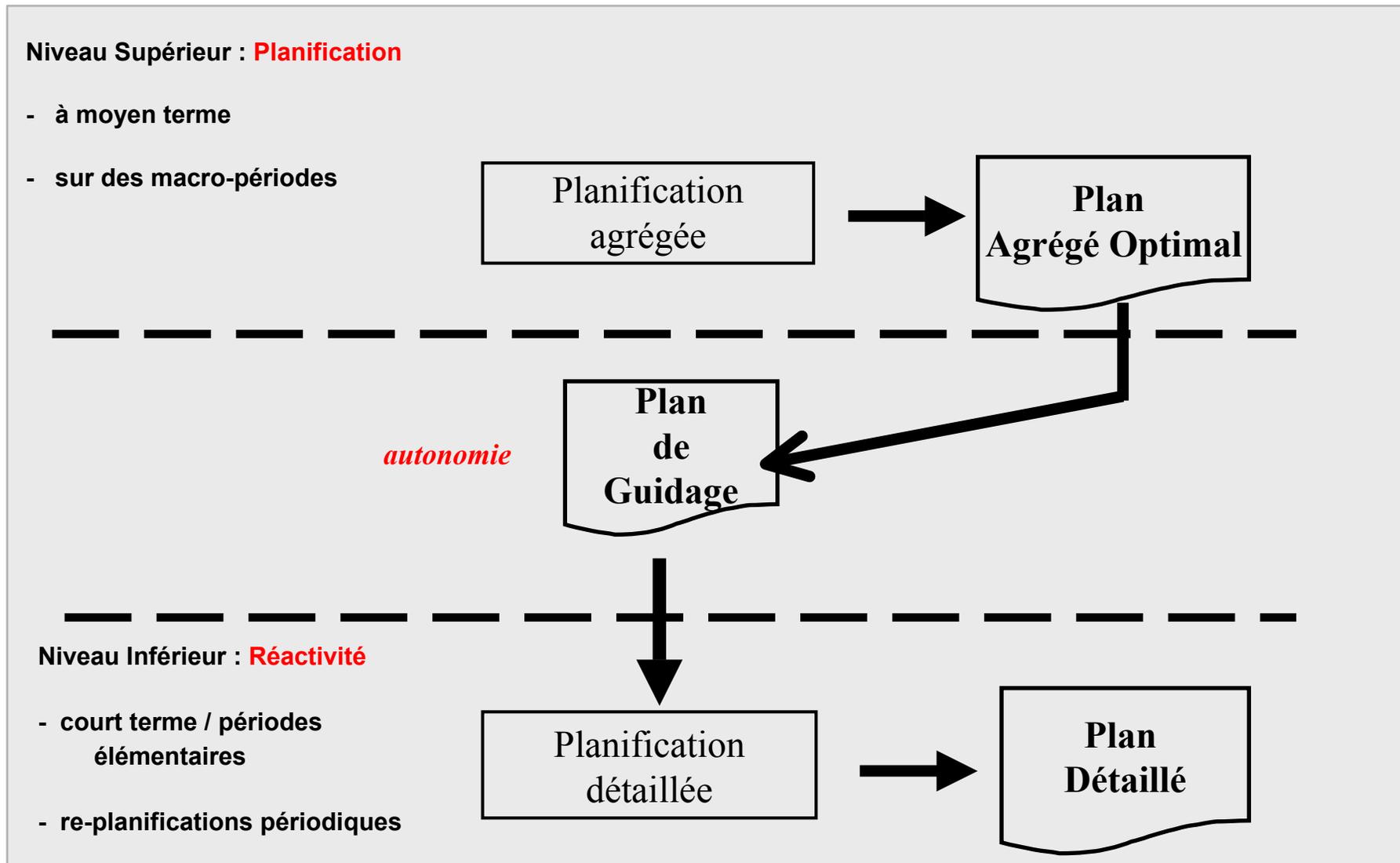
### ■ Délais d'anticipation



### ■ Remarques

- Délais d'anticipation différents selon la nature de la décision
- Combinaison de ces différents délais à prendre en compte dans la planification
- Limites à la réactivité

## Deux étapes de planification



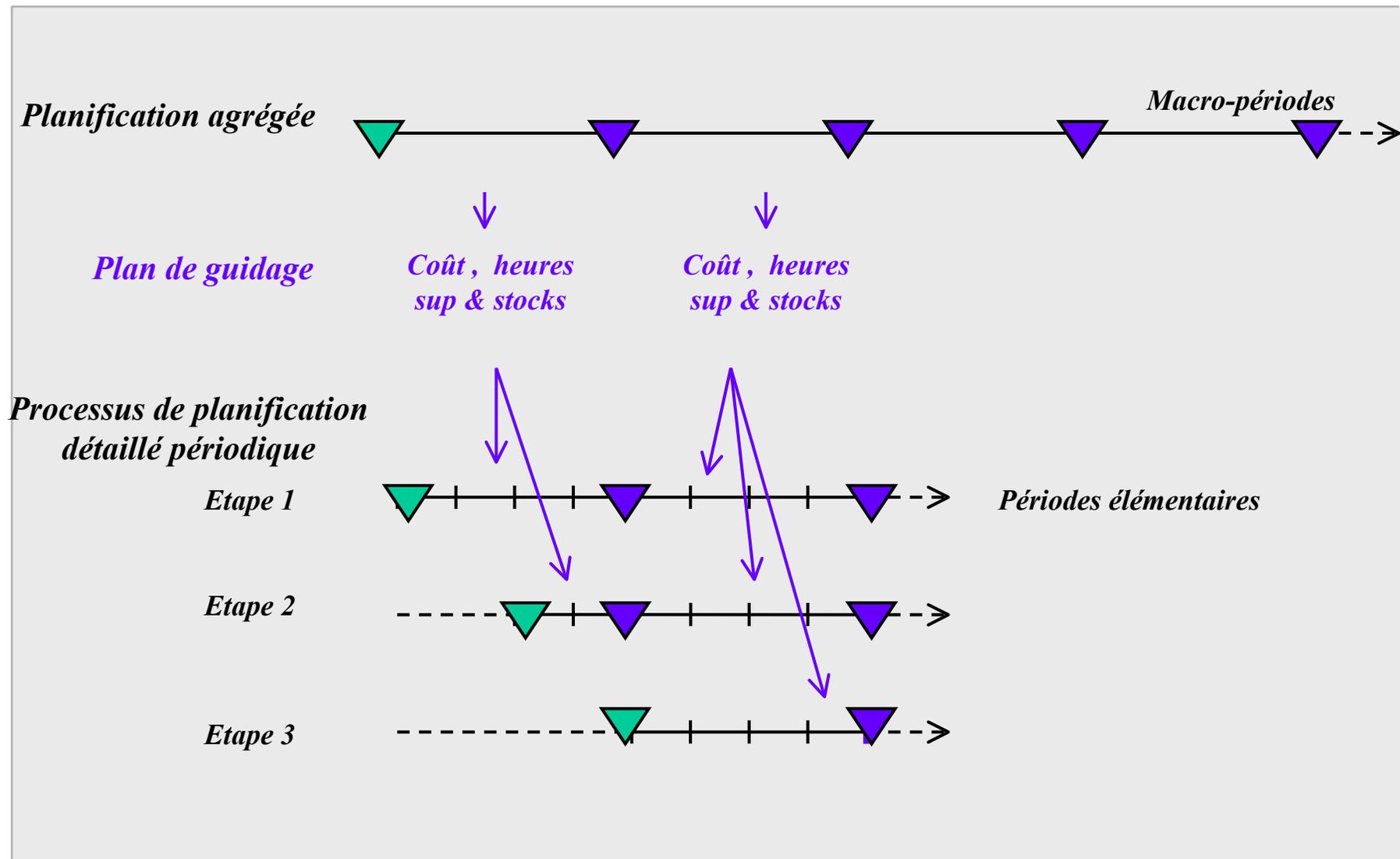
## Modèle du niveau supérieur

- **Problème « classique » multiproduit, multipériode, à capacité limitée**
- **Données**
  - Demandes agrégées (par produits et macro-périodes)
  - Capacités de production en interne, avec heures sup, en sous-traitance, etc.
  - Coûts unitaires associées à chaque type de décision
- **Variables**
  - Quantités de produits à fabriquer en interne ou en sous-traitance **par macro-période**
  - Quantités de composants à approvisionner **par macro-période**
  - Volants d'heures sup **par macro-période**
  - Niveaux de stocks prévisionnels en fin de **macro-périodes**
- **Modèle linéaire dont l'objectif est de minimiser le coût du plan agrégé**
- **Résultat de la planification :**
  - ➔ **Plan agrégé optimisé + coût de ce plan**

## Plan de guidage

- **Différents plans de guidage sont envisageables selon l'autonomie accordée au niveau détaillé**
  - **Dans le cadre de cette étude, le plan de guidage PG contient**
    - Le **coût** issu de la planification agrégée (budget agrégé alloué) + éventuelle marge de dépassement
    - **Niveaux prévisionnels de stocks** en fin de macro-période → « trajectoire » souhaitée à moyen terme (optimisée)
    - Les volants **d'heures supplémentaires** alloués par macro-périodes
  - **Remarques**
    - Coût (budget) considéré comme une « **contrainte dure** » → recherche d'un plan détaillé robuste vis à vis de ce coût
    - Niveaux de stocks agrégés considérés comme des objectifs à atteindre par le niveau détaillé
- Le niveau détaillé doit élaborer dynamiquement un plan dans le cadre du coût fixé, en suivant au mieux la trajectoire agrégée**

## Niveau inférieur : Processus de planification périodique



## Modèle de planification détaillée M<sup>s</sup> (1)

- **Modèle de planification à chaque étape s**
- **Différentes catégories de données**
  - Liées à la **description fine du système** et de son environnement (répartition des demandes et des capacités sur les périodes élémentaires, délais de production et délais d'anticipation des décisions, etc.)
  - Issues du **plan de guidage** (budget, niveaux de stocks prévisionnels, etc.)
  - Caractérisant **l'état détaillé réel** du système de production (stocks de produits et composants disponibles, en cours, etc.) → réactivité aux aléas
  - Issues des **étapes de planification précédentes** (décisions déjà engagées et donc gelées, budget déjà consommé lors des périodes élémentaires précédentes, heures sup déjà affectées, etc)
- **Variables de décision**
  - Quantités à produire, à sous-traiter, à approvisionner, etc. pour chaque période élémentaire
  - $De_{\tau}^s$  : Décision prise à l'instant s pour mise en œuvre à la période  $\tau$

## Modèle de planification détaillée M<sup>s</sup> (2)

### ■ Contraintes

- Évolution détaillée du système de production (stocks de produits et de composants)
- Respect des capacités détaillées
- Respect des décisions gelées par les planifications précédentes → Stabilité des décisions

$$x_{i\tau}^s = x_{i\tau}^{s-1} \quad \forall i=1..N, \forall \tau \in HG_x^s$$

...

- Respect du plan de guidage

- Heures sup

$$\sum_{\tau=(t-1) \times k+1}^{t \times k} h_{r\tau}^s \leq H_{rt}$$

Décisions détaillées

Données issues du plan de guidage

- Coût alloué (budget)

$$\sum_{\tau=(t-1) \times k+1}^{t \times k} co_{\tau}^s \leq CO_t \times (1 + mc_t)$$

## Modèle de planification détaillée M<sup>s</sup> (3)

### ■ Contraintes (suite)

- Evaluation de l'écart entre stocks détaillés et stocks prévisionnels agrégés → suivi de la trajectoire agrégée

$$sp_{i t.k}^s - SP_{it} = \Delta s_{i t.k}^{+s} - \Delta s_{i t.k}^{-s}$$

 Stock agrégé issu du plan de guidage

### ■ Fonction objectif

- Minimisation des écarts entre trajectoire détaillée et trajectoire agrégée

$$\min \sum_{i=1}^N \sum_{t=\left\lceil \frac{\theta^s}{k} \right\rceil}^{TD} (\Delta_{i t.k}^{s+} + \Delta_{i t.k}^{s-})$$

## Simulation du processus de planification

- **Objectifs : évaluer les performances de l'approche pour différents types de plans de guidage dans des contextes incertains**
- **Développement d'un outil simulant**
  - Les 2 étapes de planification
    - Planification agrégée
    - Processus dynamique de planification détaillée
  - Le contexte incertain de la demande
    - Tirage de « biais » qui permettent de modifier aléatoirement la demande détaillée (cf. Génin 2003, Genin 2007)
- **Programmation de l'outil en cours**
  - Résolution des modèles linéaires avec solveur Cplex
  - Développement en Java pour intégrer les modèles et la génération du contexte incertain

## Scenarios d'expérimentations

### ■ Indicateurs de performance

- Qualité de service = taux de satisfaction de la demande détaillée
- Suivi du plan de guidage (écarts de coûts, suivi de trajectoire, taux d'infaisabilité)

### ■ Scenarios envisagés (paramétrages)

- Profils de demandes et plages d'incertitude sur les demandes
- Nature des informations contenues dans le plan de guidage
- Degré d'autonomie laissé au niveau détaillé
  - Marge sur le budget
  - Écarts admissibles dans le suivi de trajectoire
- Granularité de l'agrégation (longueur des macro-périodes)

## Conclusion

- **Planification à moyen et court terme dans un contexte incertain**
- **Structure à 2 niveaux**
  - Niveau supérieur : planification agrégée à moyen terme
  - Plan de guidage :
    - Définit les informations transmises
    - Fixe l'autonomie du niveau inférieur
  - Niveau inférieur : planification détaillée
    - Réactive face aux aléas
    - Cohérente avec le plan de guidage
- **Modélisation fine des caractéristiques temporelles**
- **Développement en cours d'un outil permettant de simuler le comportement de la planification**

## Perspectives

- **Définition d'indicateurs de performance adaptés permettant de mesurer la réactivité, l'autonomie**
- **Expérimentations numériques**
  - Définir des scénarios
  - Analyser l'influence de certains paramètres (nature du plan de guidage, autonomie du niveau détaillé, ...) sur les performances de l'approche
  - Relations réactivité / délais d'anticipation / périodicité de planification
- **Modélisation et caractérisation**
  - Des différentes formes d'incertitude
  - Des différentes sources d'aléas
- **Autres formes d'agrégation**