



# *Planification opérationnelle d'une chaîne d'approvisionnement forestière*

Coordonnateur: *Jean-Marc Frayret, ing. jr., Ph.D.*

*Professeur adjoint (ÉPM)*

Industriel: *Sébastien Lacroix, ing. F., M.Sc.*

*Chercheur Foresterie de précision (FPI)*

Étudiants: *Amira Dems*  
*Sébastien Lemieux*  
*Maryem Ahib*  
*Rafael Olarte*

# *Introduction*

- a. Contexte général*
- b. Décisions de planification*

# *Introduction*

## *Structure du problème*

- a. Ensembles*
- b. Paramètres*
- c. Variables de décision*

# *Introduction*

## *Structure du problème*

### *Modèle du problème*

- a. Fonction objective*
- b. Contraintes conservation de flux*
- c. Contraintes d'affectation des périodes de récoltes*
- d. Contraintes de capacité de récolte*
- e. Contraintes de capacité de transport des billes*
- f. Contraintes de capacité de stockage aux usines*
- g. Contraintes de transfert des équipes*
- h. Contraintes de disponibilité de la ressource*
- i. Contrainte de construction de chemin*
- j. Contraintes d'accessibilité au bloc*

*Introduction*

*Structure du problème*

*Modèle du problème*

*Conclusion*

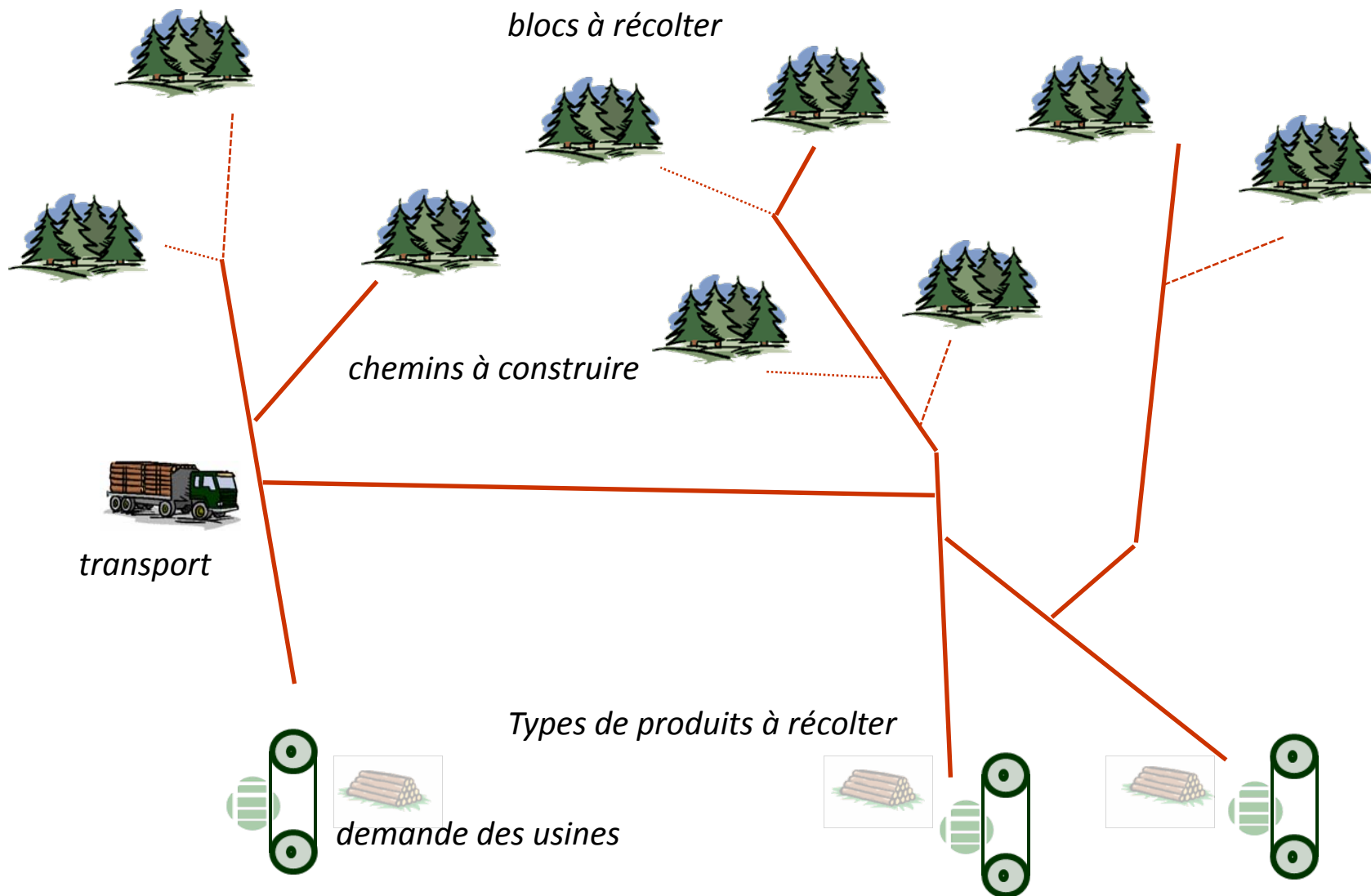
# *Introduction*



*équipes de récolte*

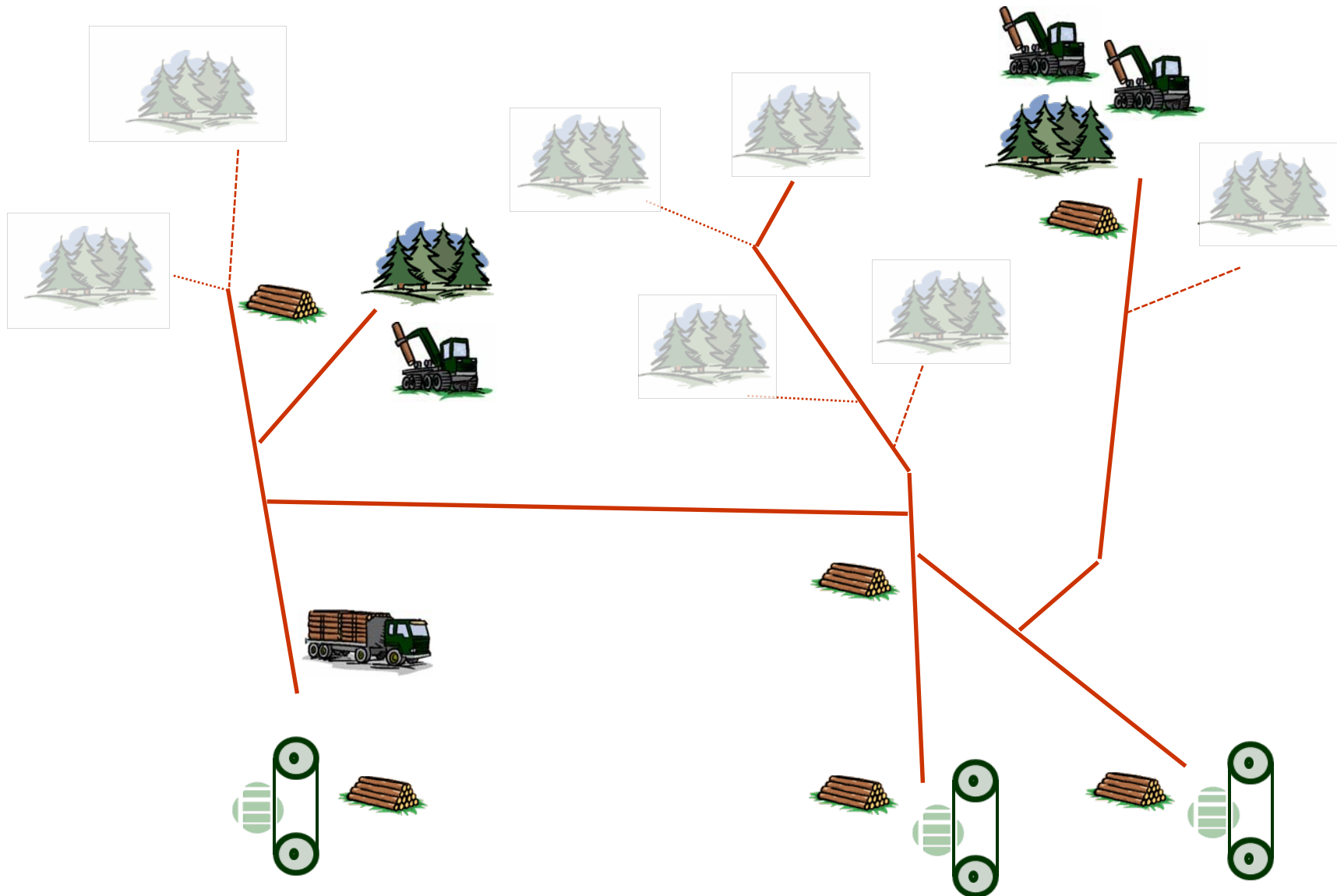
# Contexte général

*périodes de récolte*



$t = 1$

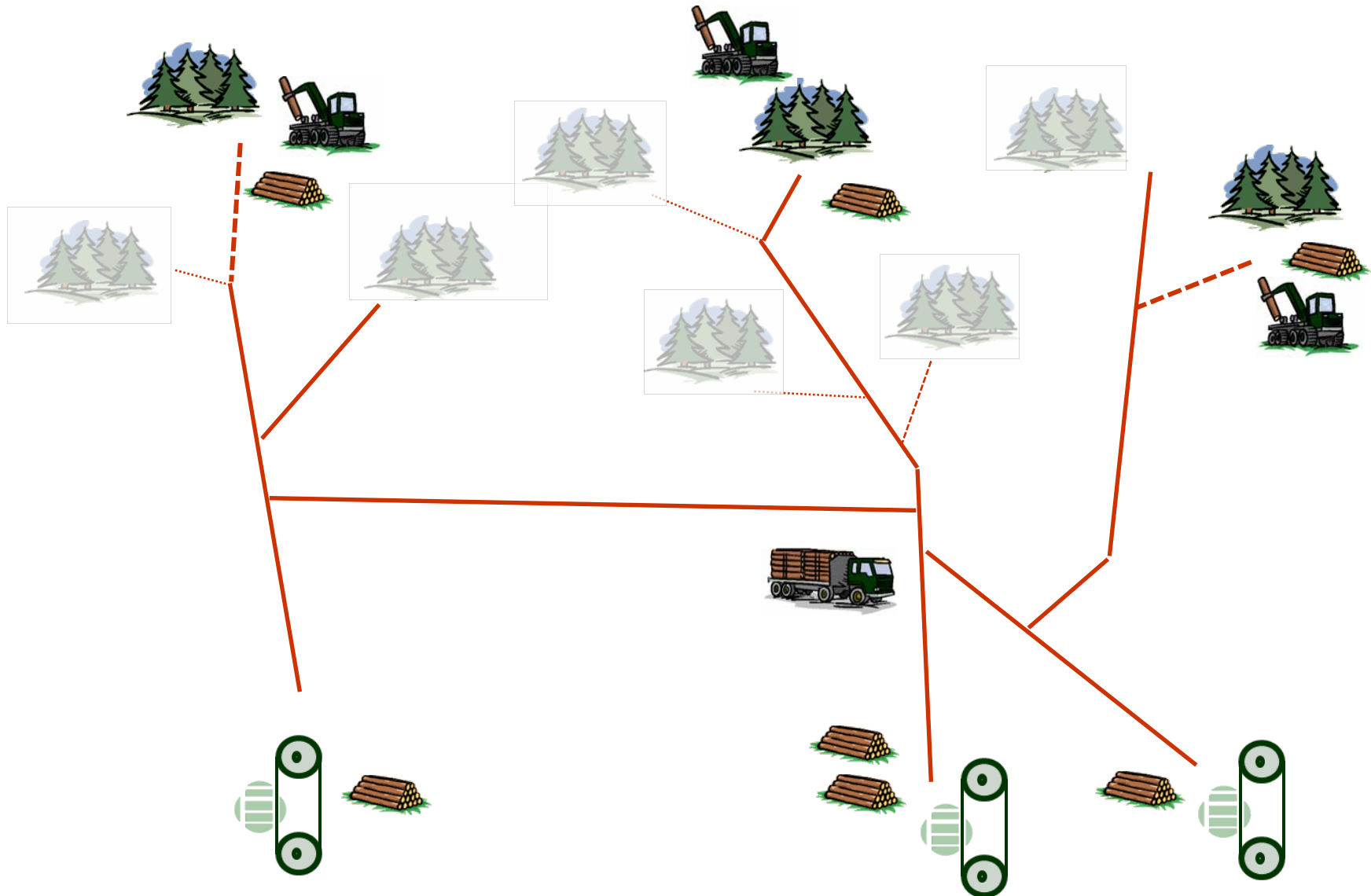
# Décisions de planification





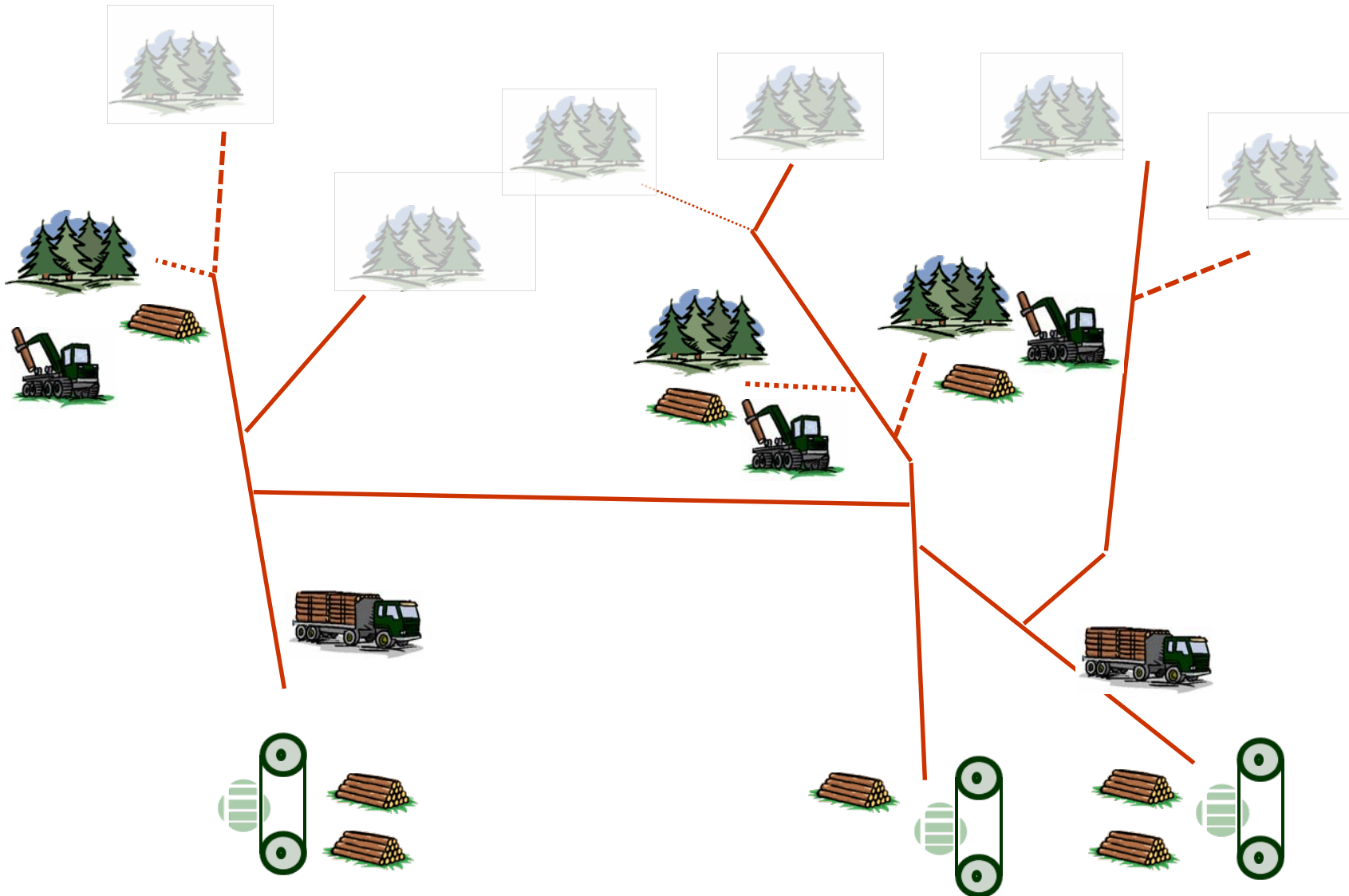
t=2

# Décisions de planification



t = 3

# Décisions de planification



# *Structure du problème*

# Ensembles

$T = \{1, \dots, t, \dots, 52\}$  Périodes

$E = \{1, \dots, e, \dots, 12\}$  Équipes

$B = \{1, \dots, b, \dots, 169\}$  Blocs

$B_c \subset B$  Blocs accessibles par le chemin  $c$

$C = \{\dots, c, \dots\}$  Chemins avec  $C = \bigcup_{b \in B} C_b$

# *Ensembles*

$P = \{1, \dots, p, \dots, 10\}$  Produits

$U = \{1, \dots, u, \dots, 5\}$  Usines

$X = \{1, \dots, x, \dots\}$  Paniers de produits

# Paramètres

$v_{pb}^x$ : Volume disponible du produit  $p$  dans le bloc  $b$  si récolté dans le panier  $x$   $[\text{m}^3]$

$A_c^t$ : Coût du chemin  $c$  à la période  $t$   $[\$]$

$D_{pu}^t$ : Demande de l'usine  $u$  à la période  $t$  pour le produit  $p$   $[\text{m}^3]$

$R_{be}$ : Coût de récolte avec l'équipe  $e$  sur le bloc  $b$   $[\$/\text{m}^3]$

$\theta_p^t$ : Coût (pénalité) de la détérioration du produit  $p$  en forêt lors de l'entreposage à la période  $t$   $[\$/\text{m}^3]$

# Paramètres

$K_{pu}$ : Coût d'inventaire du produit  $p$  dans l'usine  $u$  [ $\$/m^3$ ]

$Z_{eb}$ : Capacité journalière maximale de récolte par l'équipe  $e$   
pour récolter le bloc  $b$  [ $m^3/j$ ]

$W_{bb'}$ : Coût de déplacement d'une équipe du bloc  $b$  au bloc  $b'$  [ $\$$ ]

$\lambda_c$ : Nombre de jours requis pour la construction du chemin  $c$  [ $j$ ]

# Paramètres

$Q_{bup}$ : Coût de transport du bloc  $b$  à l'usine  $u$  du produit  $p$  [\$]

$\sigma_p$ : Coût d'achat extérieur du produit  $p$  [\$]

$I_u^{\min}$ : Volume d'inventaire minimal à l'usine  $u$  [m<sup>3</sup>]

$I_u^{\max}$ : Capacité d'inventaire maximale à l'usine  $u$  [m<sup>3</sup>]



# Paramètres

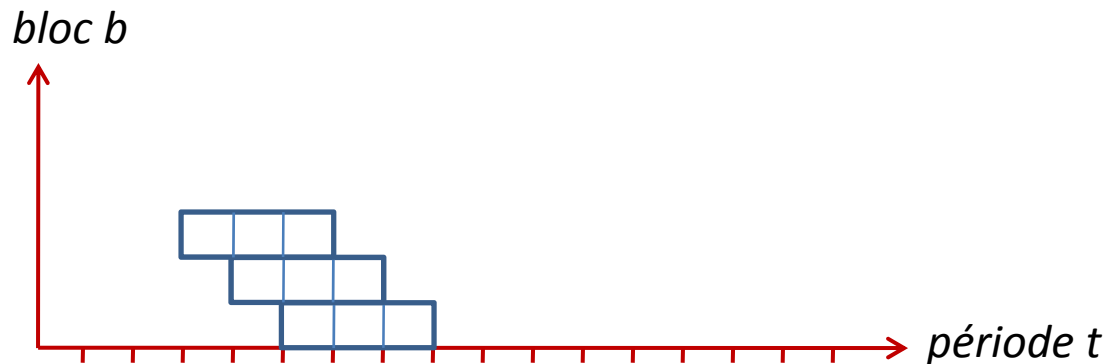
$N_{et}^{\min}$ : Nombre minimal de jours que l'équipe  $e$  doit travailler à la période  $t$  [j]

$N_{et}^{\max}$ : Nombre maximal de jours que l'équipe  $e$  doit travailler à la période  $t$  [j]

$n_{eb}$ : Nombre de périodes nécessaires à l'équipe  $e$  pour récolter le bloc  $b$

## *Variables de décision principales*

$V_{ebpt}^r$  : Volume du produit  $p$  récolté par l'équipe  $e$  sur le bloc  $b$  au cours d'une période de récolte ayant commencé à la période  $t$  et lors de la  $r^{\text{ième}}$  période de temps [ $\text{m}^3$ ]



# *Variables de décision principales*

$I_{pu}^t$ : Volume en stock du produit  $p$  à l'usine  $u$  pendant la période  $t$  [ $\text{m}^3$ ]

$J_{pb}^t$ : Volume en stock du produit  $p$  dans le bloc  $b$  pendant la période  $t$  [ $\text{m}^3$ ]

$H_{bup}^t$ : Volume transporté du produit  $p$  du bloc  $b$  vers l'usine  $u$  pendant la période  $t$  [ $\text{m}^3$ ]

$N_{ebt}$ : Nombre de jours utilisés par l'équipe  $e$  pendant la période  $t$   
pour récolter le bloc  $b$

$L_{up}^t$ : Volume de produit  $p$  acheté par l'usine  $u$  pendant la période  $t$  [ $\text{m}^3$ ]

## *Variables de décision secondaires*

$$\Delta_{ce}^t: \begin{cases} 1 \text{ si l'équipe } e \text{ construit le chemin } c \text{ à la période } t \\ 0 \text{ sinon} \end{cases}$$

$$\delta_e^t: \begin{cases} 1 \text{ si le chemin } c \text{ est construit à la période } t \\ 0 \text{ sinon} \end{cases}$$

$$\gamma_{eb}^t: \begin{cases} 1 \text{ si l'équipe } e \text{ a commencé à récolter le bloc } b \text{ à la période } t \\ 0 \text{ sinon} \end{cases}$$

## *Variables de décision secondaires*

$$\rho_{ebb'}^t: \begin{cases} 1 & \text{si l'équipe } e \text{ se déplace du bloc } b \text{ au bloc } b' \\ & \text{pendant la période } t \text{ ou entre } t \text{ et } t + 1 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$\beta_{ebt}: \begin{cases} 1 & \text{si l'équipe } e \text{ est dans le bloc } b \text{ à la période } t \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

# *Modèle du problème*

# Fonction objective

Minimisation des coûts de

$$\begin{aligned} \min : & \sum_{b,e,p,t} \sum_{r \in [1,n_{eb}]} \left( R_{be} \cdot V_{ebpt}^r \right) \text{ de récolte} \\ & + \sum_{t,b,u,p} \left( Q_{bup} \cdot H_{bup}^t \right) \text{ de transport aux usines} \\ & + \sum_{t,p,u} \left( K_{pu} \cdot I_{pu}^t \right) + \sum_{t,p,b} \left( J_{bp}^t \cdot \theta_p^t \right) \text{ de stockage} \\ & + \sum_{u,p,t} \left( \sigma_{pu} \cdot L_{up}^t \right) \text{ de pénalité de non-satisfaction de la demande} \\ & + \sum_{c,t,e} \left( A_c^t \cdot \Delta_{ce}^t \right) \text{ de construction de chemin} \\ & + \sum_{t,e} \sum_{b,b' | b \neq b'} \left( \rho_{ebb'}^t \cdot W_{ebb'} \right) + \sum_{b,e} \left( \rho_{eb_0b}^1 \cdot W_{eb_0b'} \right) \text{ de déplacement des équipes} \end{aligned}$$

# Contraintes conservation de flux

*Contrainte de flux en usines*

$$I_{pu}^{t-1} + \sum_b H_{bup}^t = I_{pu}^t + D_{up}^t + L_{up}^t \quad \forall p, u, t$$

*Contrainte de flux en forêt*

$$J_{pb}^{t-1} + \sum_{\tau=t-n_{eb}+1}^t V_{ebp\tau}^{(t-\tau+1)} = J_{pb}^t + H_{bup}^t \quad \forall p, b, t$$



# Contraintes d'affectation des périodes de récoltes

$$\sum_{r=1}^{n_{eb}} V_{ebp}^r \leq F \cdot \gamma_{eb}^t \quad \forall e, b, p, t \quad \text{sélection des scénarios de récolte}$$

$$\sum_{e,t} \gamma_{eb}^t = 1 \quad \forall b \quad \text{une équipe ne peut commencer à récolter un bloc qu'une fois}$$

$$n_{eb} \cdot \gamma_{eb}^t = \sum_{\tau=t}^{t+n_{eb}-1} \beta_{eb\tau} \quad \forall e, b, t \quad \text{si une équipe commence à récolter un bloc à une période donnée, alors elle est présente sur le bloc pendant le nombre de périodes successives requises}$$

$$\sum_e \beta_{ebt} \leq 1 \quad \forall b, t \quad \text{Il ne peut y avoir qu'une équipe dans un bloc}$$

$$\gamma_{eb}^t + \sum_{b' | b' \neq b} \beta_{eb't} \leq 2 \quad \forall e, t, b \quad \text{si une équipe commence à récolter un bloc à un période donnée, alors elle ne peut être présente que sur un seul autre bloc}$$

# *Contraintes de capacité de transport des billes*

*Contrainte capacité globale de transport*

$$H^{\min} \leq \sum_{b,u,p} H_{bup}^t \leq H^{\max} \quad \forall t$$

# *Contraintes de capacité de stockage aux usines*

*Contrainte de capacité globale de stockage*

$$I_u^{\min} \leq \sum_p I_{pu}^t \leq I_u^{\max} \quad \forall u, t$$

# Contraintes de transfert des équipes

$$\rho_{eb_0b}^1 = \gamma_{eb}^1 \quad \forall e, b \quad \text{Si une équipe commence à récolter un bloc à la première période, alors elle a subi un transfert}$$

$$1 + \rho_{ebb'}^t \geq \beta_{ebt} + \beta_{eb't} \quad \forall e, t \in [2, T] \text{ et } \forall b, b' \Big|_{b \neq b'}$$

$$1 + \rho_{ebb'}^t \geq \beta_{ebt} + \beta_{eb'(t+1)} \quad \forall e \text{ et } \forall b, b' \Big|_{b \neq b'} \text{ et } t \in [1, T-1]$$

*Si une équipe est présente sur deux blocs à la même période ou sur deux périodes successives, alors elle a subi un transfert*

# Contraintes de transfert des équipes

$$\sum_{t,e,b'|b \neq b'} \rho_{ebb'}^t = 1 \quad \forall b \quad \text{Il n'est possible de sortir d'un bloc qu'une fois}$$

$$\sum_{t,e,b'|b \neq b'} \rho_{eb'b}^1 = 1 \quad \forall b \quad \text{Il n'est possible de rentrer dans un bloc qu'une fois}$$

$$\sum_{b'|b' \neq b} \sum_{\tau=1}^t \rho_{eb'b}^{\tau} \geq \sum_{b'|b' \neq b} \rho_{ebb'}^t \quad \forall e, b, t \quad \text{Il n'est possible de sortir d'un bloc que si on y est rentré avant}$$

# Contraintes de disponibilité de la ressource

*La capacité est limitée par le volume disponible par panier de produit*

$$\sum_{r=1}^{n_{eb}^x} V_{ebpt}^r \leq v_{bp}^x \cdot \varepsilon_b^x \quad \forall e, b, p, t, x$$

$$\sum_x \varepsilon_b^x = 1 \quad \forall b$$

# Contraintes de construction de chemin

$$\sum_{e,t} \Delta_{ce}^t = 1 \quad \forall c \quad \text{Un chemin n'est construit qu'une seule fois}$$

$$\sum_e \Delta_{ce}^t = \delta_c^t \quad \forall c, t \quad \text{Si un chemin est construit alors il existe}$$

$$\delta_c^{t-1} + \sum_e \Delta_{ce}^t = \delta_c^t \quad \forall c \text{ et } t \in [2; T]$$

# Contraintes de d'accessibilité aux blocs

$$\sum_{b \in B_c} \sum_p V_{ebpt}^1 \geq \Delta_{ce}^t \quad \forall c, t, e$$

*Si on construit un chemin, il faut récolter au moins un des blocs adjacents*

$$\sum_e \sum_{b \in B_c} \sum_{\tau=t-n_{eb}+1}^t V_{ebp\tau}^{t-\tau+1} \leq F \cdot \delta_c^t \quad \forall c, t$$

*On ne peut récolter que si le chemin existe*



# Contraintes de capacité de récolte

$$\sum_p \sum_{b \in B_c} V_{ebpt}^1 \leq N_{ebt} \cdot Z_{eb} - \sum_c \Delta_{ce}^t \cdot \lambda_c \quad \forall c, t, e$$

*La limite de capacité est réduite du temps passé à construire le chemin*

$$\sum_p \sum_{\tau=t-n_{eb}+1}^t V_{ebp\tau}^{t-\tau+1} \leq \sum_b N_{eb} \cdot Z_{eb} \quad \forall e, t, b$$

$$N_{et}^{\min} \leq \sum_b N_{ebt} \leq N_{et}^{\max} \quad \forall e, t$$

# *Conclusion*

# *Beaucoup de travail à faire...*

*Simplification et ajustement du modèle...*

*Résolution...*

*Mise en œuvre et son implantation...*

*Utilisation par l'industrie...*