COORDINATION D'AGENTS COOPÉRATIFS: FORMATION DE COALITIONS

Cours 6a

Présentation

- Comment utiliser un SMA pour construire les emploi du temps?
  - Un agent par prof/élève (/salle/créneau horaire?)
  - Je définie une fonction d'utilité par agent, mais…

- Sous-problèmes:
  - Quel méthode de coordination choisir?
    - Enchères? Coalitions? Votes? Négociation?
      - ***➔ Méthodologie de coordination (Mechanism Design)***

  - Pour paramétrer/choisir le protocole, qu'est-ce que je veux optimiser?
    - La somme des fonction d'utilité? Le min? Le max?
      - ***➔ Fonction de bien-être social***

  - Comment savoir quel sera le résultat des interactions?
    - Quelle sera l'utilité finale des agents? Comment caractériser la situation finale?
      - ***Analyse des interactions***
      - ***➔ Théorie des jeux***

Plan

- Présentation
  - Exemple de formation de coalition
  - Pourquoi former des coalitions?
  - Type de problème
  - Type d’agent
  - Type d’interaction
- Méthodologie de résolution
  - Types de jeu
  - Étapes de résolution
  - Génération des coalitions
  - Répartition des gains
- Concepts de solutions
  - Ensemble stable
  - Core
  - Valeur de Shapley
- Méthodes spécifiques
  - Calcul des meilleurs coalition avec fonction d’utilité commune
  - Recherche d’une solution avec garanti de résultat
  - Formalisme de coalitions avec capacité de calcul limité
  - Formation et restructuration sans Agrégation des utilités

Exemple

- 10 agents ont une chaussure gauche
- 11 agents ont une chaussure droite
- Une paire peut être vendue 50€
- Qui se met avec qui et comment répartir les gains?

Pourquoi former des coalitions?

- Définition: une alliance temporaire entre des agents pour réaliser une tâche commune
- Tâches complexes où plus de deux agents sont nécessaires
- Similaire à un projet dans une entreprise
- Avantages :
  - Flexibilité : les places ne sont pas figées et le système peut donc réagir au changement.
  - Efficacité : les agents sont là où ils sont les plus efficaces.
- Conditions d'applications: besoin de changement
  - si les tâches sont toujours les mêmes, les agents (ou employés) ont intérêt à fixer une fois pour toute l'organisation, car:
    - elle sera toute aussi efficace
    - le processus d'affectation des rôle n'aura eu lieu qu'une fois (ce qui permet de choisir un processus très complexe et donnant donc une meilleure réponse).

Description du problème

- Résolution différente en fonction des caractéristiques

- Type de problème
  - Bien défini / incertain
  - Relation entre taches (ordre, recouvrement possible, …)
  - Possibilité de changement ou non
  - Type d'objectif : temps de calcul, résultat minimum, …

- Caractéristique des agents
  - Rationalité limitée
  - Modèle social
  - Comportement (coopératif ou non)

Types d’interactions

- Agent coopératif
  - Les agents se font confiance ou peuvent se référer à un tiers en cas de non respect d’un accord qui puisse punir le fautif.
  - Fonction d’utilité identique
    - Distributed Problem Solving
    - Utilisation des algorithmes de planification distribuée
  - Fonction d’utilité différente
    - Utilisation de la théorie des jeux coopérative
    - Problème de définition d’une fonction d’utilité collective et de répartition des gains
    - **Utilité transférable**
      - **Jeu à fonction caractéristique**
      - Les agents se regroupent puis se répartissent les gains
    - **Utilité non transférable**
      - Les agent maximisent leur fonction d’utilité sans prendre en compte d’utilité globale
- Agent non coopératif
  - Utilité transférable
    - Problèmes de confiance, de sous-optimalité des solutions
  - Utilité non transférable
    - Utilisation de la théorie des jeux non coopérative

Types de problèmes

- Caractéristiques des agents
  - Agents coopératifs / non coopératifs
  - Fonction d’utilité commune / transférable / non transférable
  - Possibilité d’entrer ou de sortir avec ou sans accord
  - Capacité à effectuer plusieurs tâches simultanément
  - Actions possédant une durée
  - Risque sur la durée et sur le résultat
  - Connaissances sociales
  - Apprentissage
- Caractéristiques de l’environnement
  - Ouverture de l’environnement
  - Structure organisationnelle
- Caractéristiques des taches
  - Tâches divisibles
  - Durée des tâches
  - Incertitude dans la définition
  - Présence d’externalités
  - Ordonnancement temporel
  - Nombre d’agents

Plan

- Présentation
  - Exemple de formation de coalition
  - Pourquoi former des coalitions?
  - Type de problème
  - Type d'agent
  - Type d'interaction
- Méthodologie de résolution
  - Types de jeu
  - Étapes de résolution
  - Génération des coalitions
  - Répartition des gains
- Concepts de solutions
  - Ensemble stable
  - Core
  - Valeur de Shapley
- Méthodes spécifiques
  - Calcul des meilleurs coalition avec fonction d'utilité commune
  - Recherche d'une solution avec garanti de résultat
  - Formalisme de coalitions avec capacité de calcul limité
  - Formation et restructuration sans Agrégation des utilités

Jeu à fonction caractéristique / coalitionnel

- Agents coopératifs: Les agents se font confiance ou peuvent se référer à un tiers en cas de non respect d’un accord qui puisse punir le fautif

- Les coalitions sont en concurrence, non les individus (qui optimisent au sein de leur coalition)

- On peut attribuer à chaque coalition une valeur v(S) représentant la valeur maximale atteignable par la coalition S après qu’elle ait résolu son problème d’optimisation si elle est rationnelle.

- Jeu coalitionnel (N,v)
  - Un ensemble de joueurs N
  - Une coalition S est un groupe de joueurs, sous-ensemble de N, qui coopèrent
  - La valeur (ou utilité) d'une coalition v
    - v(S) représente le gain de la coalition S dans le jeu (N,v)
    - v(N) est la valeur de la **grande coalition**, coalition qui regroupe tous les joueurs
  - Paiement du joueur xi
    - La part de v(S) reçue par le joueur i dans la coalition S
- Hypothèses d'un jeu à fonction caractéristique:
  - v dépend uniquement de la structure interne de la coalition
  - Utilité transférable
    - La valeur d'une coalition peut être répartie arbitrairement entre ses membres

Sous-types de jeux

- **Jeu à Grande Coalition**
  - Les agents ont toujours intérêt à former la grande coalition
- **Jeu superadditif**
  - la valeur d'une coalition est toujours supérieure à la somme des valeurs des sous-ensembles qui la composent

$$v(S_1 \bigcup S_2) \geq v(S_1) + v(S_2)\ \forall S_1, S_2 \subset N \text{ with } S_1 \bigcap S_2 = \emptyset$$

  - Un jeu superadditif est toujours un jeu à grande coalition

Étapes de résolution

- Dans le cas de jeu coopératifs à utilité transférable, et en particulier des jeux à fonction caractéristiques

- 3 étapes
  - **Génération des coalitions**
    - Rechercher un ensemble de coalitions qui permette de maximiser la fonction d'utilité globale.
    - Les agents devront ensuite se coordonner à l'intérieur des coalitions mais pas entre les coalitions.

  - **Résolution du problème d'optimisation** dans chaque coalition
    - Chaque coalition doit réaliser son projet commun
    - Les agents mettent en commun leurs ressources et résolvent le problème de planification distribué qui lui est associé.
    - Automatique et instantané dans le cas d'agents parfaitement rationnels

  - **Répartition de la valeur** créée entre les agents
    - Une fois la tâche achevée, le gain obtenu est réparti de manière définie au départ pour motiver les agents et assurer une coalition stable.

Génération des coalitions

- 3 cas
  - Jeu superadditifs:
    - les agents forment la grande coalition.
  - Set Partition Problem :
    - chaque agent ne peut participer qu'à une coalition
    - problème de partition d'ensemble: on recherche un ensemble de coalitions disjointes dont l'union forme l'ensemble des agents.
  - Set Covering Problem
    - chaque agent peut participer à plusieurs coalitions
    - problème d'ensembles se recouvrant: on recherche un ensemble de coalitions tel que l'union de ces coalitions forme l'ensemble des agents.

Répartition de la valeur

- Comment répartir les gains?

- 4 sous-objectifs possibles
  - Faisabilité: la valeur distribuée dans la coalition est inférieure à la valeur de la coalition

$$\sum_{i=1}^{m} x_i \leq v(c)$$

  - Efficacité (implique la faisabilité): la valeur distribuée dans la coalition est égale à la valeur de la coalition

$$\sum_{i=1}^{m} x_i = v(c)$$

  - Stabilité: les agents n'ont pas intérêt à sortir de la coalition
    - Nombreuses solutions permettant la stabilité

  - Équité: la valeur distribuée correspond à l'apport d'un agent à la coalition
    - Nombreux concepts de répartitions équitables

Plan

- Présentation
  - Exemple de formation de coalition
  - Pourquoi former des coalitions?
  - Type de problème
  - Type d’agent
  - Type d’interaction
- Méthodologie de résolution
  - Types de jeu
  - Étapes de résolution
  - Génération des coalitions
  - Répartition des gains
- Concepts de solutions
  - Ensemble stable
  - Core
  - Valeur de Shapley
- Méthodes spécifiques
  - Calcul des meilleurs coalition avec fonction d’utilité commune
  - Recherche d’une solution avec garanti de résultat
  - Formalisme de coalitions avec capacité de calcul limité
  - Formation et restructuration sans Agrégation des utilités

Cœur / Core

- Principe: aucune coalition n'a de valeur supérieure à celle du cœur pour ses membres

- Définition: ensemble des répartitions satisfaisant deux conditions:
  1. $\sum_{i \in N} x_i = v(N)$
  2. $\sum_{i \in S} x_i \geq v(S), \forall S \in N$
- Peut être vide

- Pour un jeu superadditif: cœur non vide -> grande coalition stable

- Sous-ensemble des ensembles stables

Cœur: exemple

1. $\sum_{i \in N} x_i = v(N)$
2. $\sum_{i \in S} x_i \geq v(S), \forall S \in N$

- 4 partis politiques A,B,C,D
- A 45 sieges, B 25, C 15, D 15
- Une loi (nécessitant 50% des voix) leur permet de se répartir (gérer…) 100 millions €

- Cœur?
  - Si xB+xC+xD<100, ils ont intérêt à dévier
  - Mais si xA=0, il a intérêt a former une coalition avec celui de B,C,D qui a le moins et à dévier
  - Donc le cœur est vide.

0,25,50,25

70,30,0,0

0,35,45,20

- Si la limite est de 80%
  - (A,B,C) et (A,B,D) sont gagnantes
  - Toute répartition telle que xA+xB=100 fait partie du cœur

50,50,0,0

?

Relation de domination

- Principe: une répartition en domine une autre si un sous-groupe a intérêt à se former.
- Soit deux paiements x et y
  - x domine y si :
  - Il existe une coalition S, telle que
    - Les membres de S préfèrent le paiement de x au paiement de y et ils auraient au moins x s'ils formaient la coalition S
    - $x_i > y_i, \forall\ i \in S$
    - $\sum_{i \in S} x_i \leq v(S)$
- Les membres de S peuvent menacer de quitter la coalition pour former S si la répartition x n'est pas sélectionnée
- Cœur
  - Les répartitions du cœur ne se dominent pas entre elles (stabilité interne)
  - Les répartitions du cœur ne dominent pas toujours les répartitions externes

{20,25,50}
Domine
{10,20,45,20}

Pour limite=80%
{50,50,0,0} dans le cœur
{40,60,0,0} dans le cœur

Aucune ne domine
{10,70,20}

Ensemble stable

- Un ensemble de répartition est stable si ses membres ne sont pas dominés.
  - Stabilité interne: aucune répartition de l'ensemble stable n'en domine une autre
  - Stabilité externe: toute répartition en dehors de l'ensemble est dominée par au moins un membre de l'ensemble

- Si le cœur existe et est stable, il constitue l'unique ensemble stable

Pour limite=80%
{50,50} dans le cœur
{40,60} dans le cœur

Aucune ne domine
{5,70,15}
Mais
{10,90} la domine

Équité: Valeur de Shapley

- Concepts préalables pour un jeu $(\mathcal{A}, v)$

- Contribution marginale:
  - La contribution marginale d'un agent ai à une coalition c est l'augmentation de la valeur de c provoquée par l'arrivée de ai.

$$\mu_i(c) = v(c \cup \{a_i\}) - v(c)$$

- Agent inutile:
  - Un agent est inutile si sa contribution marginale est égale à la valeur de sa coalition singleton

$$\forall c \subseteq \mathcal{A},\ a_i \notin c \Rightarrow \mu_i(c) = v(\{a_i\})$$

- Agents interchangeables:
  - Deux agents sont interchangeables si leur contribution marginale est identique
  - $$\forall c \subseteq \mathcal{A},\ [a_i \notin c \text{ et } a_j \notin c] \Rightarrow \mu_i(c) = \mu_j(c)$$

Équité: Valeur de Shapley

- Shapley définit trois conditions pour qu'une répartition soit équitable:
- Symétrie: Deux agents a_i et a_j interchangeables doivent recevoir le même paiement $x_i = x_j$
- Agent inutile: Un agent inutile a_i doit recevoir un paiement égal à la valeur de sa coalition singleton : $x_i = v(\{a_i\})$.
- Additivité: Si un jeu est répété, les paiements sont additionnés
  - Soient deux jeux coalitionnels $(N; v_1)$ et $(N; v_2)$.
  - Soit x_{1i} le paiement que reçoit le joueurs a_i dans $(A; v_1)$.
  - Soit x_{2i} le paiement que reçoit le joueurs a_i dans $(A; v_2)$.
  - Si le jeu $(A; v_3)$ est défini de telle manière à ce que les valeurs des coalitions soient égales à la somme des valeurs qu'elles ont dans les jeux $(A; v_1)$ et $(A; v_2)$, c'est-à-dire pour tout c; $v_3(c) = v_1(c) + v_2(c)$.
  - Alors le paiement x_{3i} de a_i dans $(A; v_3)$ doit être égal à la somme des paiements reçus dans $(A; v_1)$ et $(A; v_2)$, autrement dit $x3i = x1i + x2i$.

Valeur de Shapley: principe

- La seule répartition respectant ces trois propriétés est la valeur de Shapley

- Valeur de Shapley: contribution marginale moyenne d'un agent à la coalition

$$sh(a_i) = \frac{1}{n!} \sum_{\sigma \in S(n)} \mu_i(c_i(\sigma))$$

- La moyenne est calculée pour tous les schémas de construction possible menant à la coalition.

Valeur de Shapley: exemple 1

- N={1,2}
- V({1})=5
- V({2})=5
- V({1,2})=20

- $\mu_1(\{\emptyset\})=5$
- $\mu_1(\{2\})=15$
- sh(1)=(15+5)/2=10
- $\mu_2(\{\emptyset\})=5$
- $\mu_2(\{1\})=15$
- sh(2)=(15+5)/2=10

- V({1})=5
- V({2})=10
- V({1,2})=20

- $\mu_1(\{\emptyset\})=5$
- $\mu_1(\{2\})=10$
- sh(1)=(10+5)/2=7,5
- $\mu_2(\{\emptyset\})=10$
- $\mu_2(\{1\})=15$
- sh(2)=(15+10)/2=12,5

$$sh(a_i) = \frac{1}{n!} \sum_{\sigma \in S(n)} \mu_i(c_i(\sigma))$$

Valeur de Shapley: exemple 2

- N={1,2,3}
- 1,2 ont un gant droit
- 3 a un gant gauche
- $v(S)$ = 1 pour {1,3}, {2,3}, {1,2,3}, sinon 0
- Cœur: (0,0,1)
  - Pour toute autre répartition, 3 menace de donner la moitié de ce qu'avait 2 à 1 (ou inversement)
- VS?

Valeur de Shapley: exemple 2

- N={1,2,3}
- 1,2 ont un gant droit
- 3 a un gant gauche
- *v*(*S*) = 1 pour {1,3}, {2,3}, {1,2,3}, sinon 0
- sh(*1*) = 1/6
- sh(*2*) = 1/6
- sh(*3*) = 4/6

- Permutations possibles: 3!
- {1,2,3}{1,3,2}{2,1,3}
- {2,3,1}{3,1,2}{3,2,1}

- $\mu_1(\{\emptyset\})=0$ *compté 2 fois*
- $\mu_1(\{2\})=0$
- $\mu_1(\{3\})=1$
- $\mu_1(\{2,3\})=0$ *compté 2 fois*

- sh(1)=1/6
- sh(2)=1/6
- sh(3)=4/6

$$sh(a_i) = \frac{1}{n!} \sum_{\sigma \in S(n)} \mu_i(c_i(\sigma))$$

Valeur de Shapley: propriétés

- Mesure la contribution moyenne d’un agent
- Peut être utilisée pour répartir les gains dans une coalitions de façon équitable
- Exponentiel à calculer avec le nombre d’agents
- Une répartition suivant la valeur de Shapley n’est pas toujours dans le cœur

- Exercice
  - Des robots nettoyeurs, de rapidités différentes, cherchent à nettoyer le plus rapidement possible une pièce.
  - A chaque fois qu'un robot voit une tache, il forme une coalition avec les robots voisins (s'ils sont intéressés) et ils se mettent à nettoyer.
  - Plus les robots sont nombreux, plus ils nettoient vite. Pour les inciter à nettoyer, les robots sont récompensés en énergie.
  - Un robot Ri est caractérisé par sa vitesse de nettoyage Vi
  - Une tache j est caractérisée par sa taille Tj
- La valeur Uj d'une coalition formée pour nettoyer une tache j, est égale à la taille de la tache multipliée par la somme des rapidités des agents plus 2.
  - Uj=0 si aucun agent ne participe à la coalition
  - Uj=Tj*(2+$\sum_c V_{k_c^j}$) sinon
  - Chaque agent de la coalition Cj est récompensé par une quantité d'énergie égale à sa valeur de Shapley shj pour la coalition.
- Par exemple :
  - R1 a une vitesse V1=10
  - R2 a une vitesse V2=10
  - R1 identifie T1 de taille 2, il crée une coalition et propose à R2 de participer qui accepte.
  - La valeur de la coalition est :
  - U1({R1,R2})=2*(2+10+10)=44
  - R1 et R2 reçoivent leur valeur de Shapley en énergie : sh1(R1)=sh1(R2)=22
- R3 identifie la tache T2 de taille 10, R4 et R5 acceptent de participer à la coalition. Quel montant va recevoir chacun en énergie ? Sachant que :
  - V3=2
  - V4=1
  - V5=1

Plan

- Présentation
  - Exemple de formation de coalition
  - Pourquoi former des coalitions?
  - Type de problème
  - Type d'agent
  - Type d'interaction
- Méthodologie de résolution
  - Types de jeu
  - Étapes de résolution
  - Génération des coalitions
  - Répartition des gains
- Concepts de solutions
  - Ensemble stable
  - Core
  - Valeur de Shapley
- Méthodes spécifiques
  - Calcul des meilleurs coalition avec fonction d'utilité commune
  - Recherche d'une solution avec garanti de résultat
  - Formalisme de coalitions avec capacité de calcul limité
  - Formation et restructuration sans Agrégation des utilités

Calcul des meilleurs coalition avec fonction d’utilité commune [Shehory & Kraus 98]

- Objectif : trouver les meilleures coalitions pour réaliser des tâches qui ont une valeur sociale
- Hypothèses:
  - Le jeu n’est pas obligatoirement superadditif ou subadditif
  - Les agents peuvent participer à plusieurs coalitions simultanément. Chaque agent possède une liste de compétence, chaque tâche nécessite une liste de compétences.
  - Les tâches peuvent être partiellement ordonnées
  - Les agents coopèrent et cherchent à maximiser une fonction d’utilité globale unique. Le problème de répartition ne se pose donc pas.
- Résolution:
  - Toutes les coalitions possibles sont réparties entre les agents qui calculent leur valeur.
  - La meilleure (plus faible cout par agent) est retenue et formée. Les capacités nécessaires sont soustraites des capacités restantes.
  - Le processus est recommencé jusqu’à ce qu’il n’y ait plus de tâche à réaliser ou de capacité disponible.

Calcul des meilleurs coalition avec fonction d'utilité commune [Shehory & Kraus 98]

- Avantages :
  - Efficacité
  - Hypothèses faibles

- Inconvénients :
  - Lent (complexité élevée)
  - Utilité commune
  - Doit être redémarré en cas de changement

- Étendu par [Rahwan et Jennings 07] pour améliorer l'efficacité
  - Meilleur répartition du calcul des coalitions entre les agents
  - Prise en compte des puissances de calcul différentes

Recherche d'une solution avec garanti de résultat Sandholm & Shehory 99

- Objectif : obtenir un résultat final au moins égal à une certaine proportion du résultat optimal

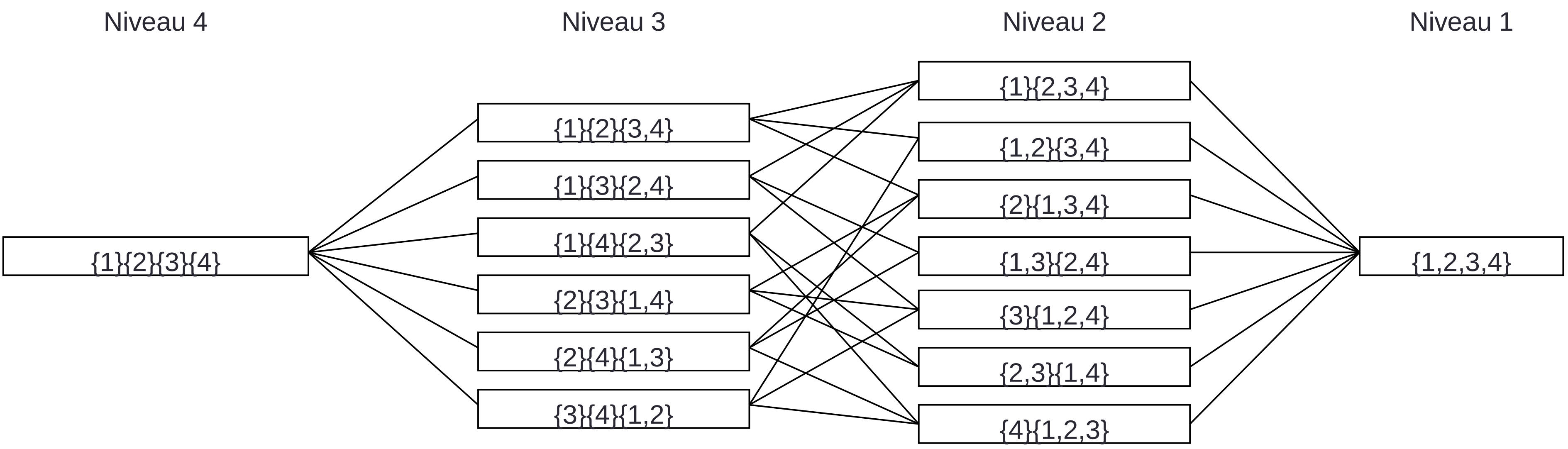
$$k \geq \frac{V(CS^*)}{V(CS)}$$

- Hypothèses
  - Jeu à fonction caractéristique, c'est à dire sans externalité entre tâches, pas nécessairement superadditif
  - Chaque agent fait partie d'une coalition et une seule. Il s'agit donc d'un problème de répartition de l'ensemble des agents.
  - Les agents coopèrent et cherchent à maximiser une fonction d'utilité sociale commune.

- Méthode : calcul d'un certain nombre de niveaux sur le treillis des partitions:

Recherche d'une solution avec garanti de résultat Sandholm & Shehory 99

- Pour k=a (nombre d'agents), si on calcul toutes les coalitions des niveaux 1 et 2
  - On a calculé la valeur de la coalition qui a la plus grosse valeur vmax.
  - Il y a au plus a coalitions dans la solution donc $V(CS^*) \leq a \times v\max$
  - Vmax fait parti d'une répartition calculée pour laquelle $V(CS) \geq v\max$
  - Donc $V(CS) \geq v\max \geq \frac{V(CS^*)}{a}$ $a \geq \frac{V(CS^*)}{V(CS)}$
- En calculant les a premiers niveaux on obtient $k = \frac{a}{\frac{a-l}{2}+2}$ $k \geq \frac{V(CS^*)}{V(CS)}$
- Étendu par [Dang et Jennings 04], [Rahwan et al 07 08 09]



Formalisme de coalitions avec capacité de calcul limité Sandholm & Lesser 97

- Objectif: formation des meilleures coalitions lorsque le temps de calcul est couteux

- Les agents cherchent à minimiser le cout final (qui dépend négativement du temps de négociation) plus le cout de la négociation (qui dépend positivement du temps de négociation)

$$v_s(c_{comp}) = -\min_{r_s}[c_s(r_s) + c_{comp} \times r_s]$$

- Intérêt: prise en compte du temps de négociation, introduction d'un formalisme adapté à ce cas

- Inconvénient: pas de méthode de calcul de la solution (supposée automatique). Connaissance parfaite de la fonction de coût qui dépend du temps de négociation.

Formation et restructuration sans Agrégation des utilités [Caillou et al 02, 10]

- Objectif : trouver une solution sans agréger les préférences

- Optimum de Pareto : situation où on ne peut améliorer l'utilité d'un agent sans détériorer celle d'au moins un autre.
  - Avantage : acceptable par tous. On ne peut faire mieux sans comparer les fonctions d'utilité des agents.
  - Inconvénient : il existe le plus souvent plusieurs optima de Pareto. Lequel choisir?

- On ne choisit pas : on cherche à trouver le plus rapidement possible un optimum de Pareto.

Application exemple

- Détermination du meilleur emploi du temps en se fondant sur les fonctions d'utilité des professeurs et des élèves.
- 1 agent = 1 professeur ou groupe d'élèves
- 1 tache = 1 cours
- Chaque agent est entièrement libre de sa fonction d'utilité

Définitions

- **Coalition** : une coalition est formée pour chaque tâche. Elle regroupe aucun, un ou plusieurs agents qui vont effectuer des actions pour réaliser la tâche. Pour chaque agent, une action et ses paramètres sont définis (par exemple, action de donner un cours avec comme paramètres la semaine, le jour et l'heure).

- **Ensemble de coalitions** : un ensemble représente une solution au problème de formation de coalitions. Il est composé d'autant de coalitions qu'il y a de tâches à réaliser dans le système à un instant donné (dans l'exemple proposé, il s'agit d'un emploi du temps).

- **Groupe d'ensembles de coalitions** : Un groupe d'ensembles de coalitions correspond à plusieurs ensembles de coalitions regroupés pour pouvoir être traités ou transmis collectivement (par exemple, plusieurs emplois du temps possibles).

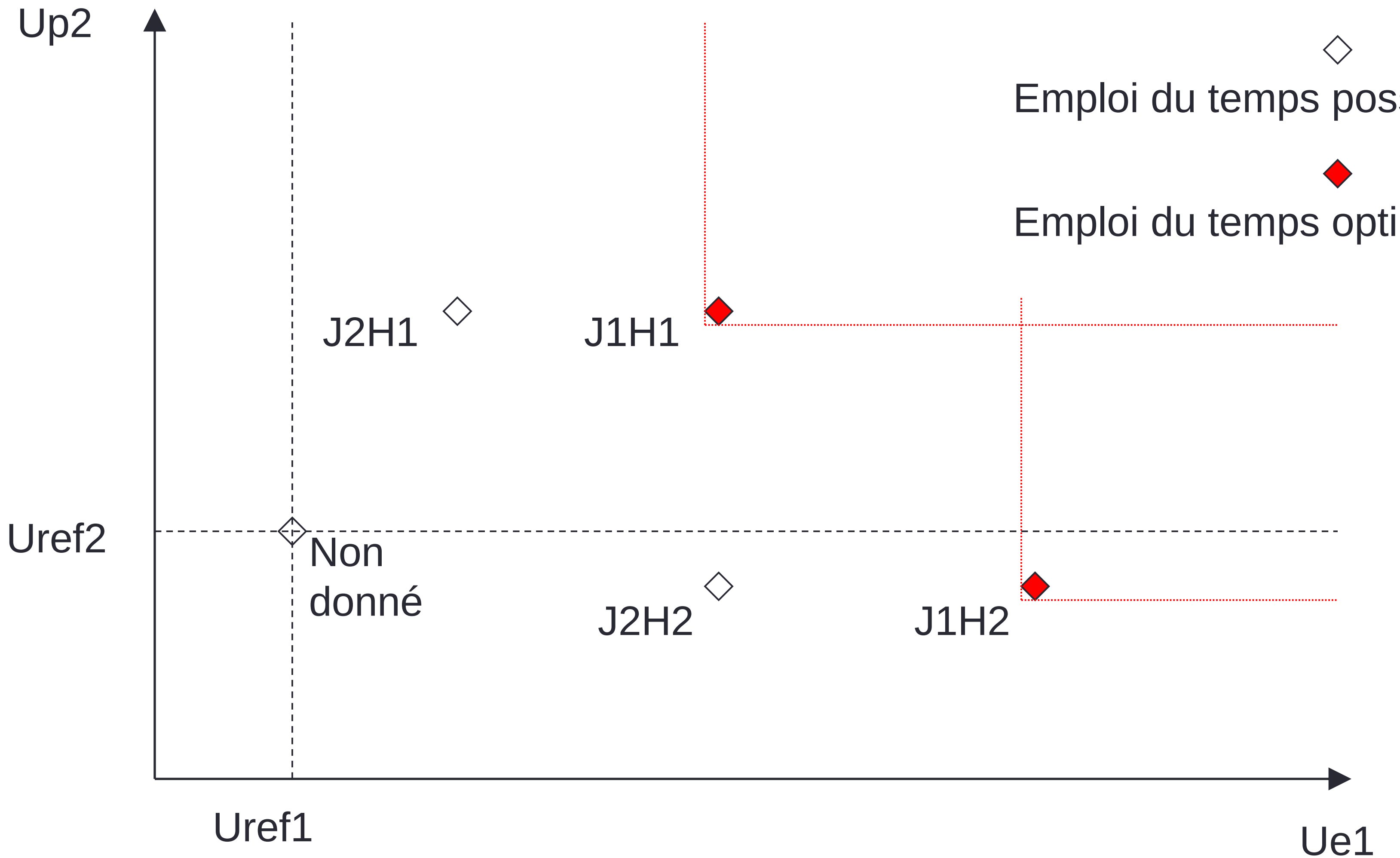
Présentation

- L'agent qui initialise la négociation débute avec tous les ensembles possible, il les classe et envoie ceux qu'il juge acceptables au suivant par groupe de préférence en ordre décroissant.
- Lorsqu'un agent reçoit un groupe d'ensembles, il les classe et envoie ceux qu'il juge acceptables au suivant par groupe de préférence en ordre décroissant.
- Lorsque le dernier participant reçoit un groupe d'ensembles, si au moins l'un d'eux est acceptable, celui qu'il juge le meilleur est un optimum de Pareto et solution de la négociation.

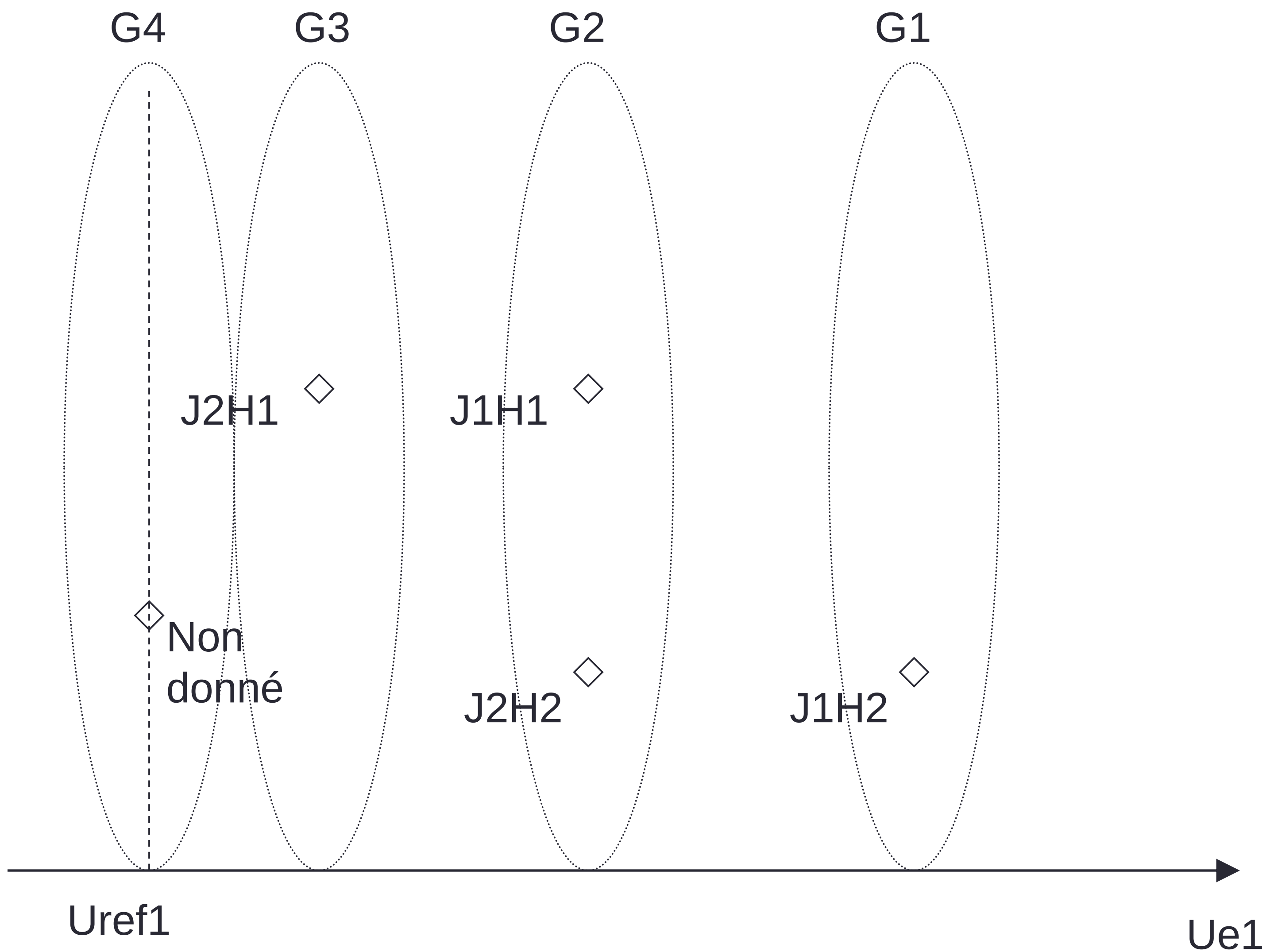
Exemple

1 élève (Ae1)
1 professeur (Ap2)

1 cours
2 jours(J1,J2), 2 heures(H1,H2)

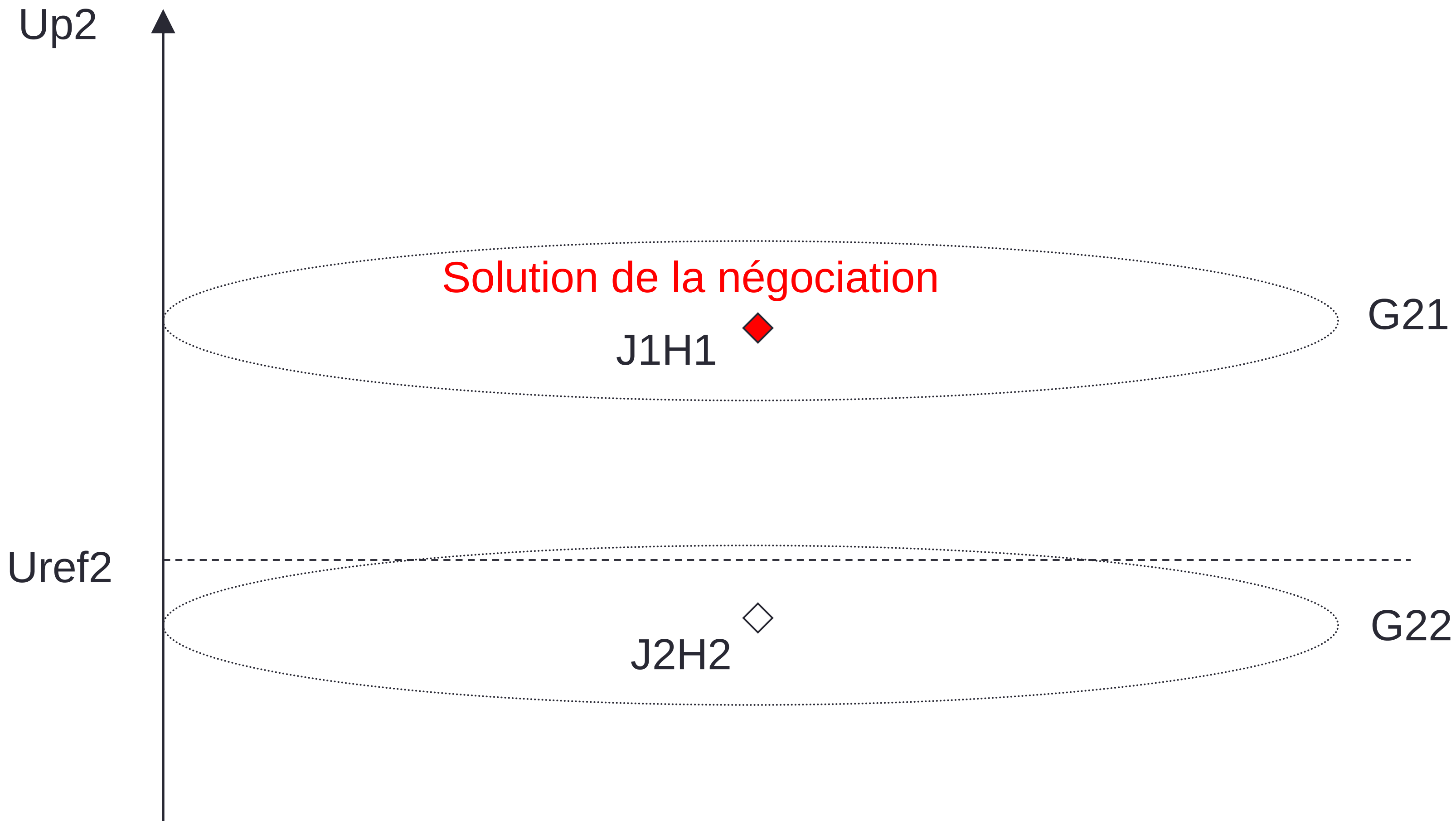


Etape 1: l'élève Ae1 débute la négociation



Etape 2: le professeur Ap2 reçoit G1

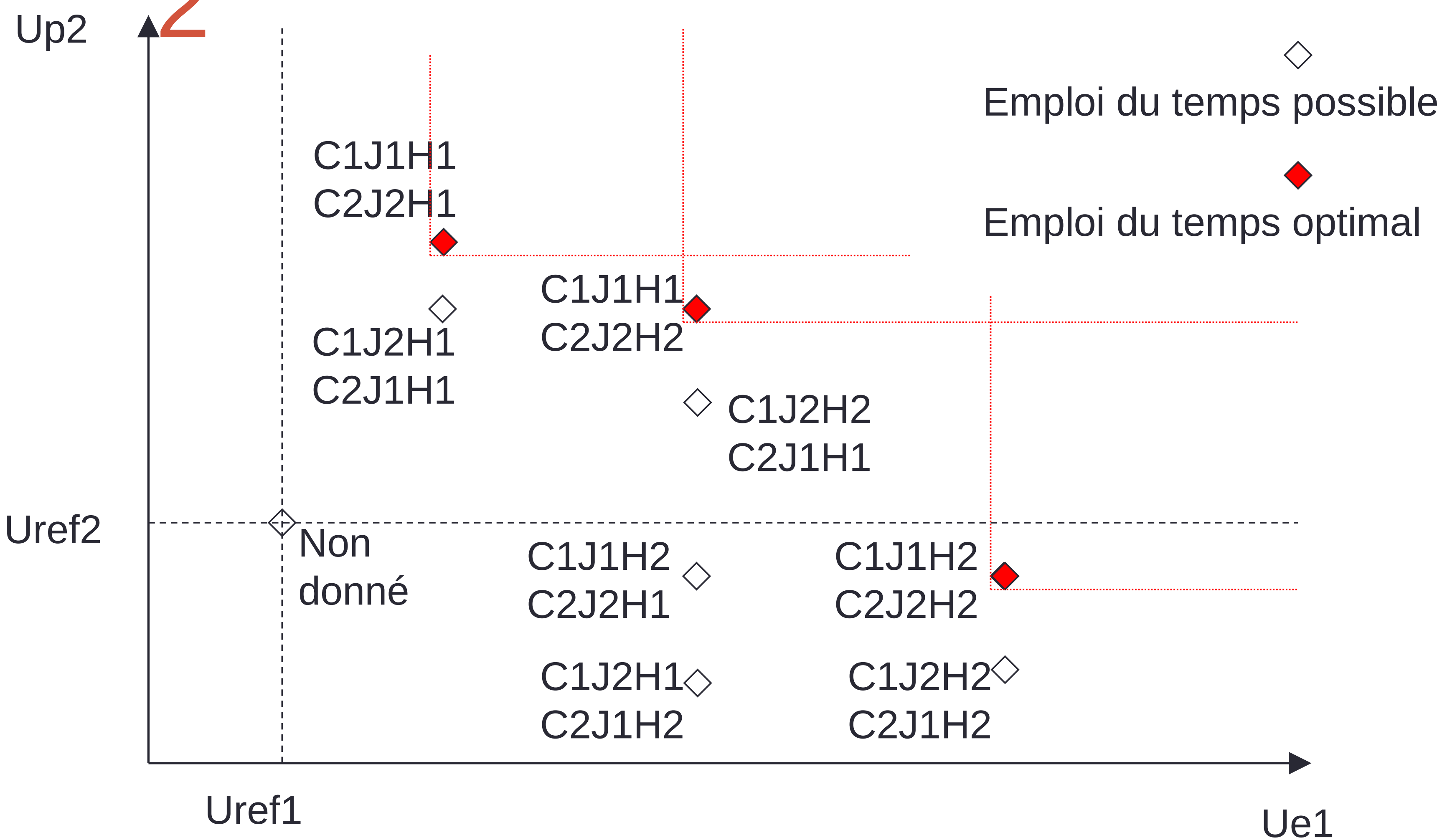
Étape 3: le professeur Ap2 reçoit G2



Exemple 2

1 élève (Ae1)
1 professeur (Ap2)

2 cours(C1,C2)
2 jours(J1,J2), 2 heures(H1,H2)



- **Ce sont des ensembles de coalitions (emplois du temps) qui sont évalués et transmis et non des coalitions (cours)**

Propriétés

- Le protocole renvoie toujours une solution
- La solution est optimale au sens de Pareto

Comportement des agents

- Les agents peuvent utiliser la méthode qu’ils veulent pour trouver les groupes d’ensembles à transmettre au suivant.
- Méthode la plus simple : évaluer tous les ensembles possibles (ou reçus), les classer, et les envoyer au suivant.
- Des heuristiques permettent de limiter la complexité de la recherche (six d’entre elles sont proposées).

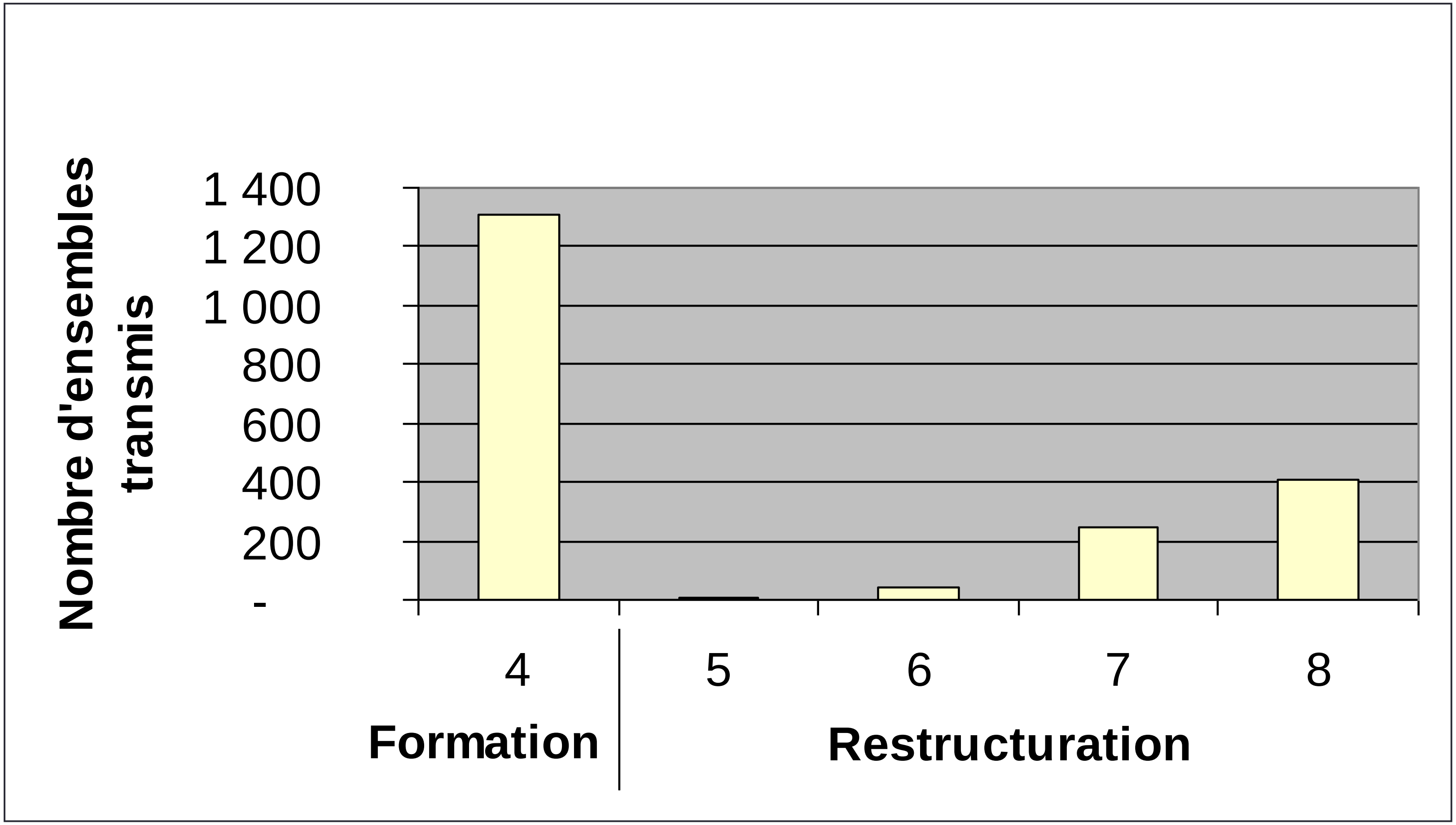
Restructuration dynamique des coalitions

- Problème :
  - Après un changement de l'état du monde, on veut réutiliser les résultats précédents pour trouver les nouvelles coalitions optimales
- Démarche :
  - La situation de référence est la situation actuelle (solution de la dernière négociation)
  - Lors de la nouvelle négociation, tous les ensembles considérés comme moins bons que la situation actuelle ne seront pas transmis
  - Le protocole garde ses propriétés (trouve une solution et solution optimale)

Avantages et limites du modèle

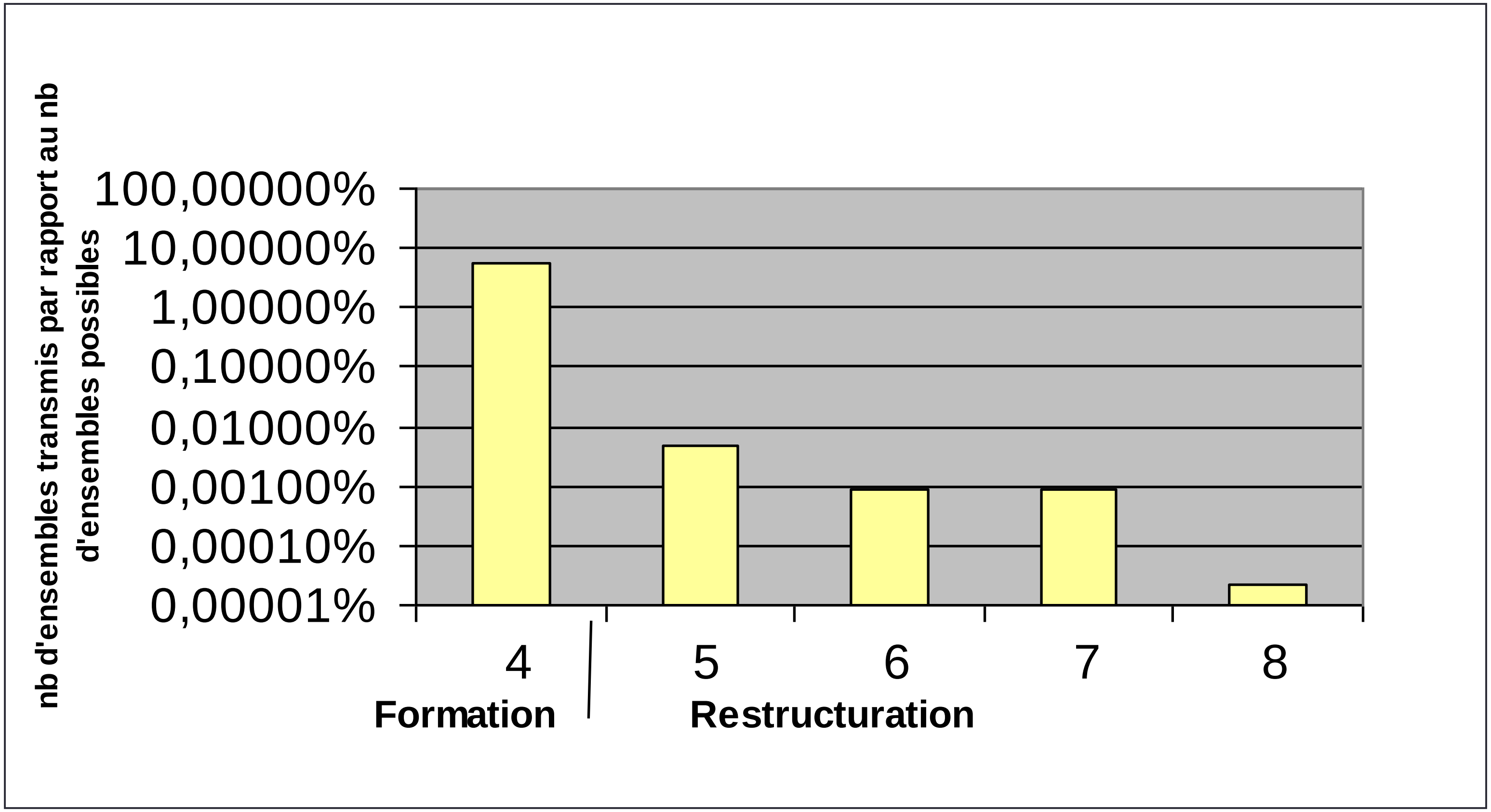
- Avantages :
  - Liberté dans le choix de la méthode utilisée par les agents pour trouver les solutions à transmettre.
  - Liberté dans la définition de la fonction d'utilité des agents et les autres agents n'ont pas besoin de la connaître.
  - La restructuration dynamique permet de trouver plus rapidement une nouvelle solution.
- Limites :
  - L'ordre de participation des agents modifie la solution obtenue.
  - Les premiers agents à participer sont favorisés.

Mesure de l’apport de la restructuration dynamique



2 professeurs, 2 élèves, 16 tranches horaires possibles
Formation de coalitions avec 4 cours
Ajout de 4 cours avec restructuration à chaque cours ajouté

Mesure de l’apport de la restructuration dynamique (2)



Extension [Aknine et al. 04]

- A chaque fois qu'un agent transmet un ensemble, il le signe pour indiquer aux suivants qu'il l'a accepté.
- L'agent qui initialise la négociation calcule les ensembles qu'il préfère et envoie le groupe à un autre agent.
- Lorsqu'un agent reçoit un groupe d'ensembles, il les classe et constitue ainsi de nouveaux groupes qu'il ajoute à ceux qu'il a calculé lui-même. S'il dispose d'un groupe d'ensembles qu'il préfère à ceux qu'il a reçu et qu'il n'a pas encore transmis, il peut l'envoyer à un autre agent.
- A tout moment, un agent qui a reçu des ensembles signés peut « céder », c'est-à-dire les déclarer acceptables comme solution, les signer lui-même et les transmettre à un autre agent qui ne les a pas encore signés.
- Lorsqu'un agent reçoit un groupe d'ensembles que tous les autres agents ont signé, si au moins l'un d'eux est jugé acceptable, celui qu'il juge le meilleur est un optimum de Pareto et solution de la négociation.

Propriétés

- Propriétés du modèle :
  - Pas d'agrégation des préférences
  - Trouve toujours une solution
  - La solution est optimale au sens de Pareto et évite les solutions en coin
  - L'ordre des agents n'est pas important

- Avantages:
  - Liberté du choix des fonctions d'utilités
  - Externalités possibles
  - Liberté du choix du comportement