

Problèmes de maximisation de la durée de vie dans un réseau de capteurs sans fil directionnels

André Rossi*, Alok Singh*, Marc Sevaux*

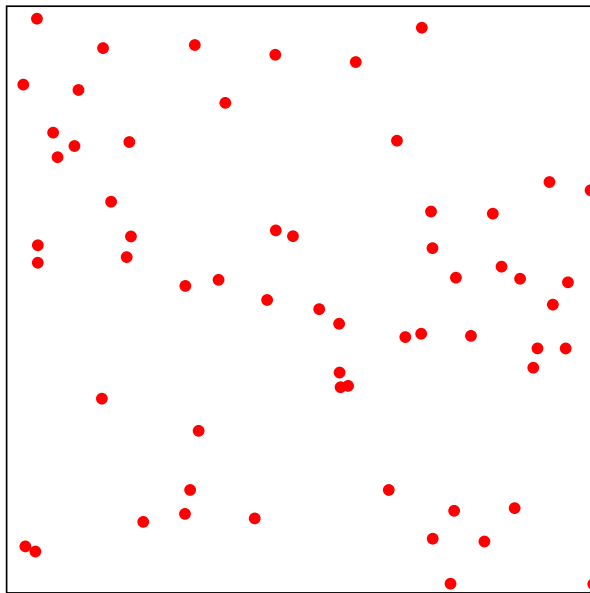
* Université de Bretagne-Sud, Lab-STICC, Lorient, France
{andre.rossi, marc.sevaux}@univ-ubs.fr

* University of Hyderabad, School of Computer and Information Sciences, India
alokcs@uohyd.ernet.in

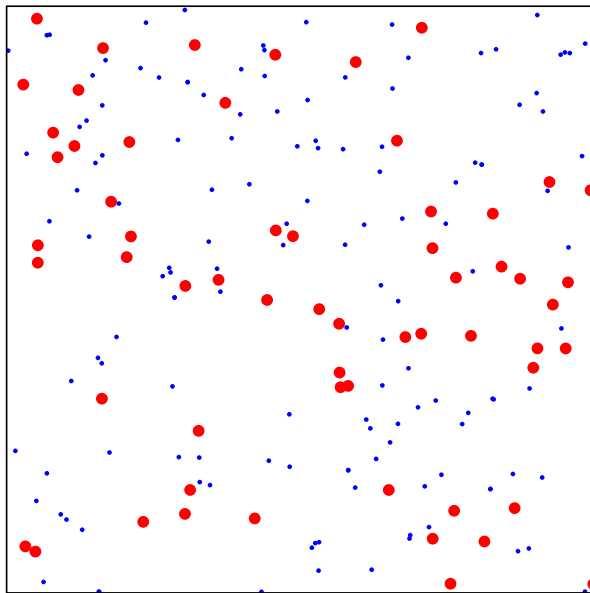
12 février 2013

- 1 Réseaux de capteurs sans fil omnidirectionnels
- 2 Réseaux de capteurs sans fil directionnels
- 3 Méthode de résolution par génération de colonnes
- 4 Comparaison des deux versions du problème
- 5 Résultats
- 6 Conclusions et perspectives

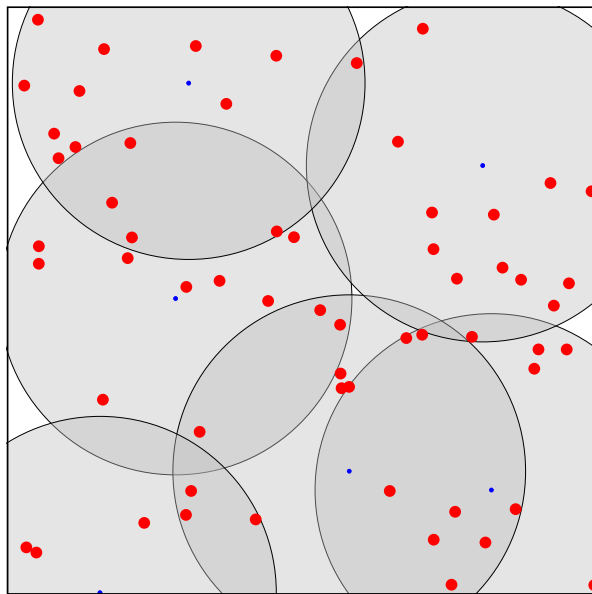
Réseaux de capteurs sans fil omnidirectionnels



Réseaux de capteurs sans fil omnidirectionnels



Réseaux de capteurs sans fil omnidirectionnels



$$\text{Maximiser} \quad \sum_{j=1}^c t_j \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^c a_{i,j} t_j \leq b_i \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \quad [\pi_i] \quad (2)$$

$$t_j \geq 0 \quad \forall j \in \{1, \dots, c\} \quad (3)$$

$$\text{Maximiser} \quad 1 - \sum_{i=1}^n a_{i,c+1} \pi_i \quad (4)$$

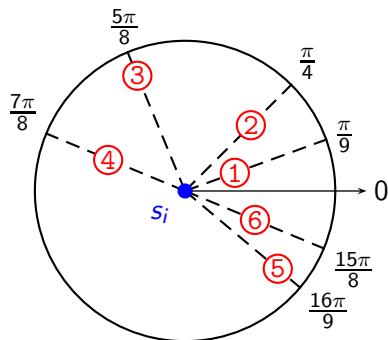
$$1 \leq \sum_{i \in C_k} a_{i,c+1} \quad \forall k \in \{1, \dots, m\} \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n a_{i,c+1} \leq m \quad (6)$$

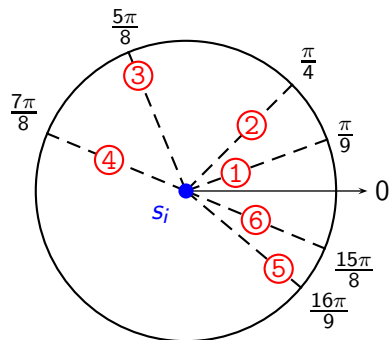
$$a_{i,c+1} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \quad (7)$$

Réseaux de capteurs sans fil directionnels

- Chaque capteur fonctionne dans un secteur angulaire d'amplitude donnée
- Une direction dans $[0, 2\pi[$ pour tout capteur actif



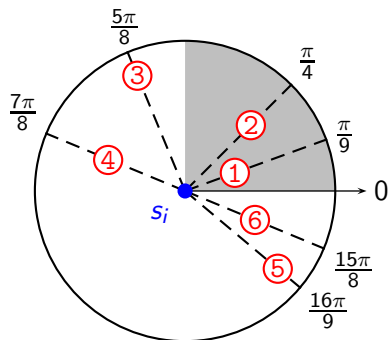
Premier problème



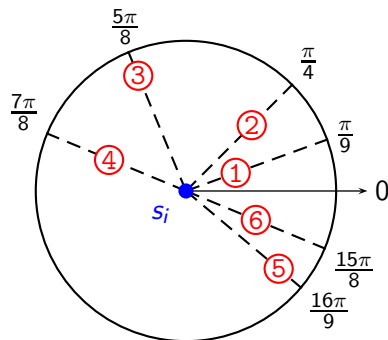
Second problème

Réseaux de capteurs sans fil directionnels

- Chaque capteur fonctionne dans un secteur angulaire d'amplitude donnée
- Une direction dans $[0, 2\pi[$ pour tout capteur actif



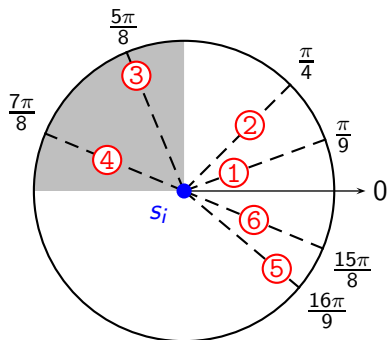
Premier problème



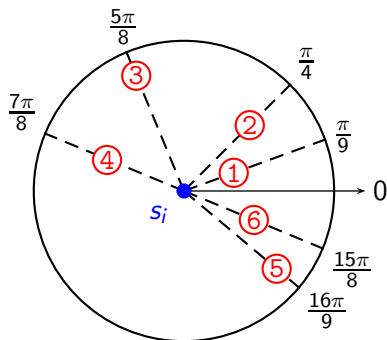
Second problème

Réseaux de capteurs sans fil directionnels

- Chaque capteur fonctionne dans un secteur angulaire d'amplitude donnée
- Une direction dans $[0, 2\pi[$ pour tout capteur actif



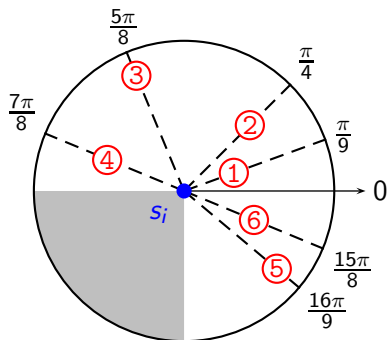
Premier problème



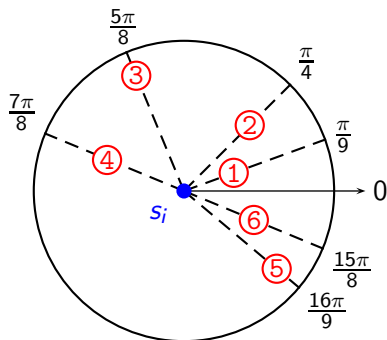
Second problème

Réseaux de capteurs sans fil directionnels

- Chaque capteur fonctionne dans un secteur angulaire d'amplitude donnée
- Une direction dans $[0, 2\pi[$ pour tout capteur actif



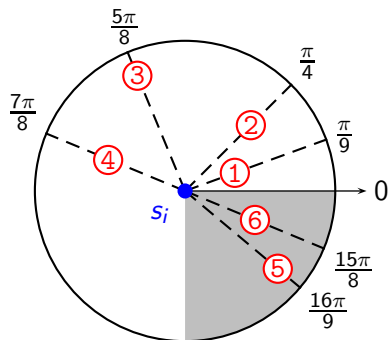
Premier problème



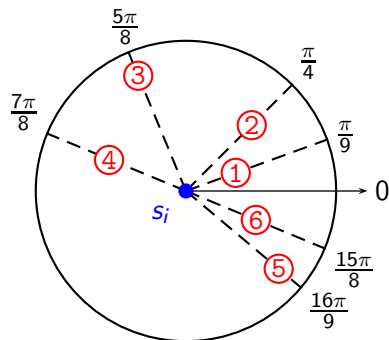
Second problème

Réseaux de capteurs sans fil directionnels

- Chaque capteur fonctionne dans un secteur angulaire d'amplitude donnée
- Une direction dans $[0, 2\pi[$ pour tout capteur actif



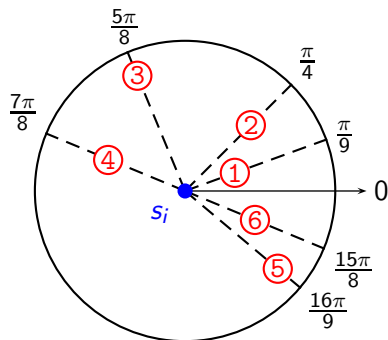
Premier problème



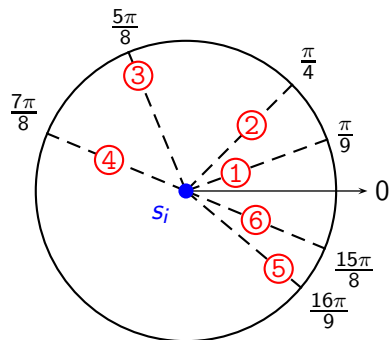
Second problème

Réseaux de capteurs sans fil directionnels

- Chaque capteur fonctionne dans un secteur angulaire d'amplitude donnée
- Une direction dans $[0, 2\pi[$ pour tout capteur actif



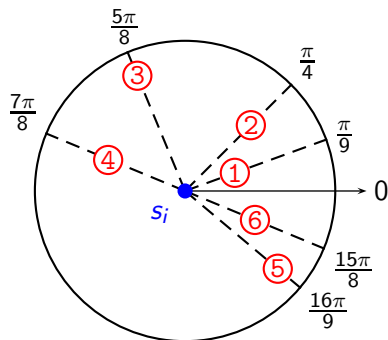
Premier problème



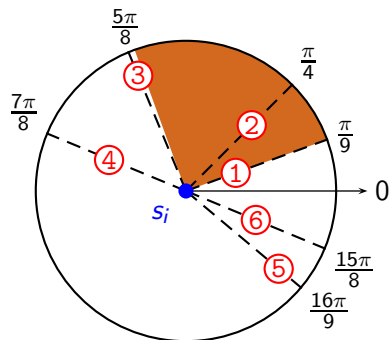
Second problème

Réseaux de capteurs sans fil directionnels

- Chaque capteur fonctionne dans un secteur angulaire d'amplitude donnée
- Une direction dans $[0, 2\pi[$ pour tout capteur actif



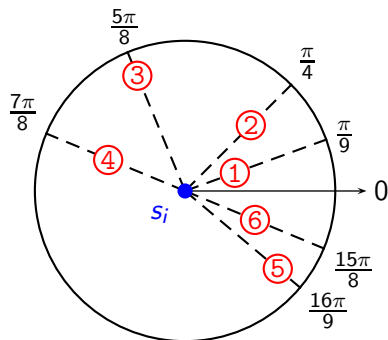
Premier problème



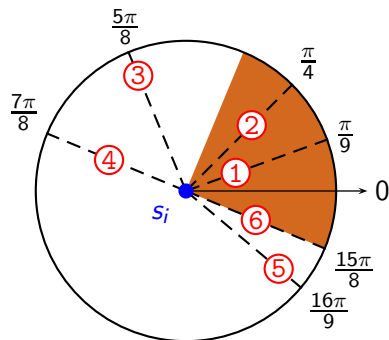
Second problème

Réseaux de capteurs sans fil directionnels

- Chaque capteur fonctionne dans un secteur angulaire d'amplitude donnée
- Une direction dans $[0, 2\pi[$ pour tout capteur actif



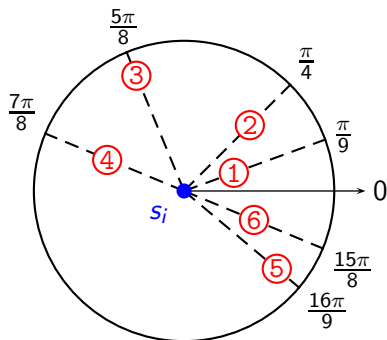
Premier problème



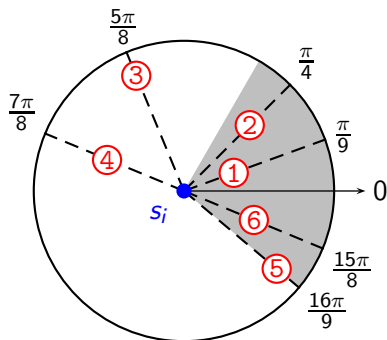
Second problème

Réseaux de capteurs sans fil directionnels

- Chaque capteur fonctionne dans un secteur angulaire d'amplitude donnée
- Une direction dans $[0, 2\pi[$ pour tout capteur actif



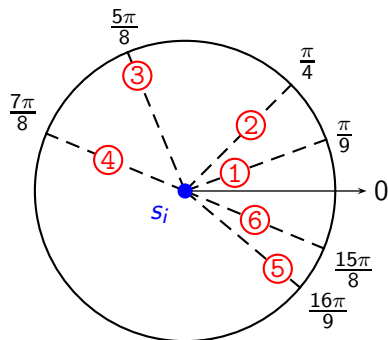
Premier problème



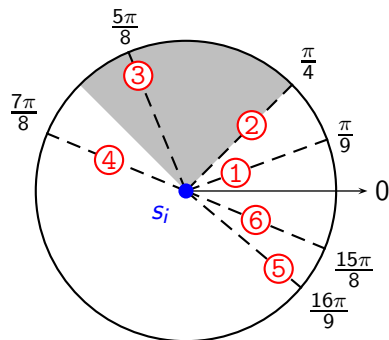
Second problème

Réseaux de capteurs sans fil directionnels

- Chaque capteur fonctionne dans un secteur angulaire d'amplitude donnée
- Une direction dans $[0, 2\pi[$ pour tout capteur actif



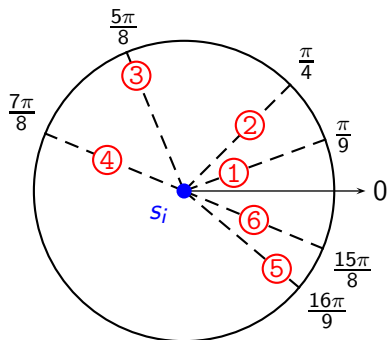
Premier problème



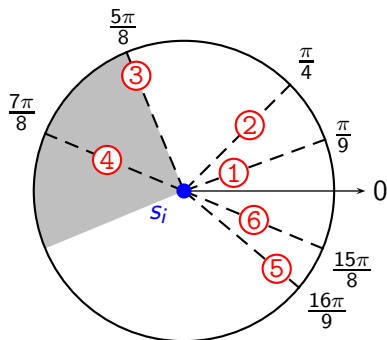
Second problème

Réseaux de capteurs sans fil directionnels

- Chaque capteur fonctionne dans un secteur angulaire d'amplitude donnée
- Une direction dans $[0, 2\pi[$ pour tout capteur actif

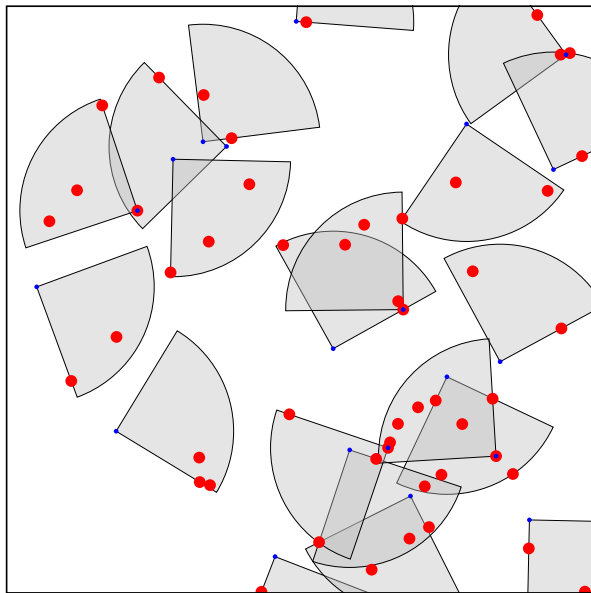


Premier problème



Second problème

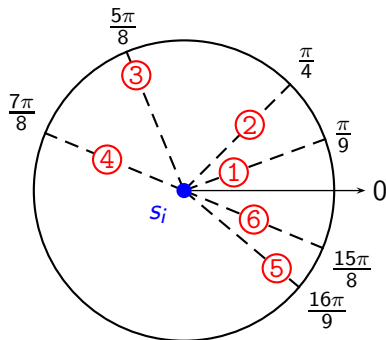
Réseaux de capteurs sans fil directionnels



- 1 Représentation d'une couverture
- 2 Initialisation du problème maître
- 3 Sous-problème
- 4 Stratégie globale de l'algorithme de génération de colonnes
- 5 Intérêt de l'algorithme génétique pour le sous-problème

Représentation d'une couverture

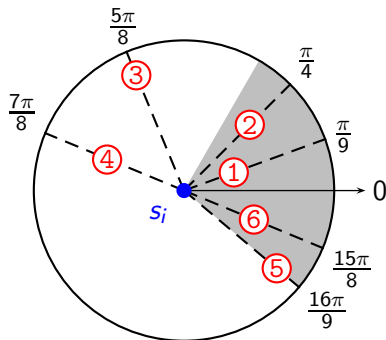
- Le capteur s_i a σ_i directions, pour tout i dans $\{1, \dots, n\}$.
- $g_i = \sum_{\ell=1}^{i-1} \sigma_\ell$, et $\forall q \in \{1, \dots, \sigma_i\}$, $A_{g_i+q, j} = 1$ ssi le capteur i est actif et orienté dans sa $q^{\text{ième}}$ direction.



$$A_j = \begin{array}{|c|} \hline \\ \hline \vdots \\ \hline 0 \\ \hline 0 \\ \hline 0 \\ \hline \vdots \\ \hline \\ \hline \end{array} \begin{array}{l} 1 \\ \\ g_i + 1 \\ \\ g_i + \sigma_i \\ \\ g_n + \sigma_n \end{array}$$

Représentation d'une couverture

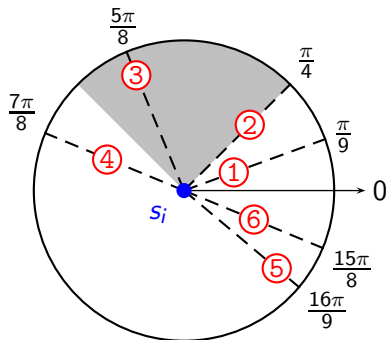
- Le capteur s_i a σ_i directions, pour tout i dans $\{1, \dots, n\}$.
- $g_i = \sum_{\ell=1}^{i-1} \sigma_\ell$, et $\forall q \in \{1, \dots, \sigma_i\}$, $A_{g_i+q,j} = 1$ ssi le capteur i est actif et orienté dans sa $q^{\text{ième}}$ direction.



$$A_j = \begin{array}{|c|} \hline \\ \hline \vdots \\ \hline 1 \\ \hline 0 \\ \hline 0 \\ \hline \vdots \\ \hline \\ \hline \end{array} \begin{array}{l} 1 \\ \\ g_i + 1 \\ \\ g_i + \sigma_i \\ \\ \\ g_n + \sigma_n \end{array}$$

Représentation d'une couverture

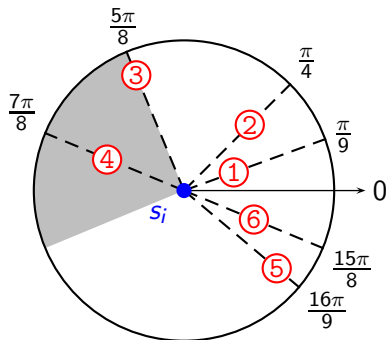
- Le capteur s_i a σ_i directions, pour tout i dans $\{1, \dots, n\}$.
- $g_i = \sum_{\ell=1}^{i-1} \sigma_\ell$, et $\forall q \in \{1, \dots, \sigma_i\}$, $A_{g_i+q,j} = 1$ ssi le capteur i est actif et orienté dans sa $q^{\text{ième}}$ direction.



$$A_j = \begin{array}{|c|} \hline \\ \hline \vdots \\ \hline 0 \\ \hline 1 \\ \hline 0 \\ \hline \vdots \\ \hline \\ \hline \end{array} \begin{array}{l} 1 \\ \\ g_i + 1 \\ g_i + \sigma_i \\ \\ g_n + \sigma_n \end{array}$$

Représentation d'une couverture

- Le capteur s_i a σ_i directions, pour tout i dans $\{1, \dots, n\}$.
- $g_i = \sum_{\ell=1}^{i-1} \sigma_\ell$, et $\forall q \in \{1, \dots, \sigma_i\}$, $A_{g_i+q,j} = 1$ ssi le capteur i est actif et orienté dans sa $q^{\text{ième}}$ direction.

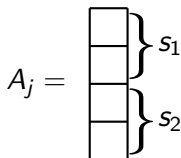
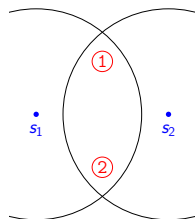


$$A_j = \begin{array}{|c|} \hline \\ \hline \vdots \\ \hline 0 \\ \hline 0 \\ \hline 1 \\ \hline \vdots \\ \hline \\ \hline \end{array} \begin{array}{l} 1 \\ \\ g_i + 1 \\ \\ g_i + \sigma_i \\ \\ g_n + \sigma_n \end{array}$$

Représentation d'une couverture

- Une colonne du problème maître correspond à plusieurs couvertures distinctes

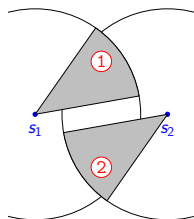
$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Maximiser } \sum_{j=1}^p t_j \\ \sum_{j=1}^p \left(\sum_{q=1}^{\sigma_i} A_{g_i+qj} \right) t_j \leq b_i \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \\ t_j \geq 0 \quad \forall j \in \{1, \dots, p\} \end{array} \right.$$



Représentation d'une couverture

- Une colonne du problème maître correspond à plusieurs couvertures distinctes

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Maximiser } \sum_{j=1}^p t_j \\ \sum_{j=1}^p \left(\sum_{q=1}^{\sigma_i} A_{g_i+qj} \right) t_j \leq b_i \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \\ t_j \geq 0 \quad \forall j \in \{1, \dots, p\} \end{array} \right.$$

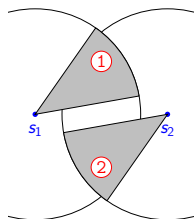


$$A_j = \begin{array}{|c|} \hline 1 \\ \hline 0 \\ \hline 0 \\ \hline 1 \\ \hline \end{array} \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} s_1 \\ \\ s_2 \end{array}$$

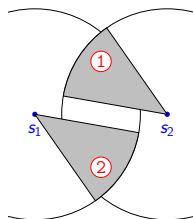
Représentation d'une couverture

- Une colonne du problème maître correspond à plusieurs couvertures distinctes

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Maximiser } \sum_{j=1}^p t_j \\ \sum_{j=1}^p \left(\sum_{q=1}^{\sigma_i} A_{g_i+q,j} \right) t_j \leq b_i \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \\ t_j \geq 0 \quad \forall j \in \{1, \dots, p\} \end{array} \right.$$



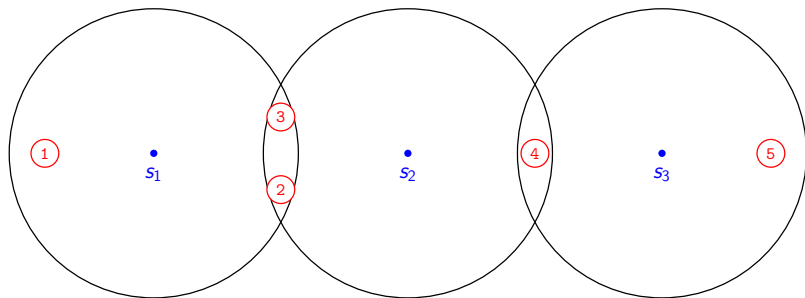
$$A_j = \begin{array}{|c|} \hline 1 \\ \hline 0 \\ \hline 0 \\ \hline 1 \\ \hline \end{array} \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} s_1 \\ \\ s_2 \end{array}$$



$$A_j = \begin{array}{|c|} \hline 0 \\ \hline 1 \\ \hline 1 \\ \hline 0 \\ \hline \end{array} \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} s_1 \\ \\ s_2 \end{array}$$

Initialisation du problème maître

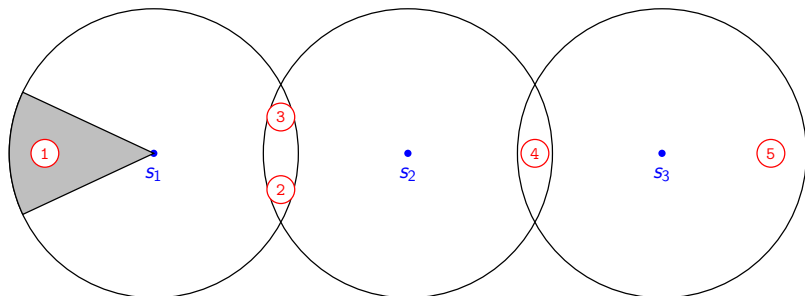
- S'il existe une cible hors de portée de tout capteur, alors le problème n'a pas de solution (la durée de vie du réseau de capteurs est nulle)
- La réciproque est fausse



- Déterminer s'il existe une couverture valide est un problème \mathcal{NP} -complet
- Conséquence : initialement, aucune colonne pour le problème maître

Initialisation du problème maître

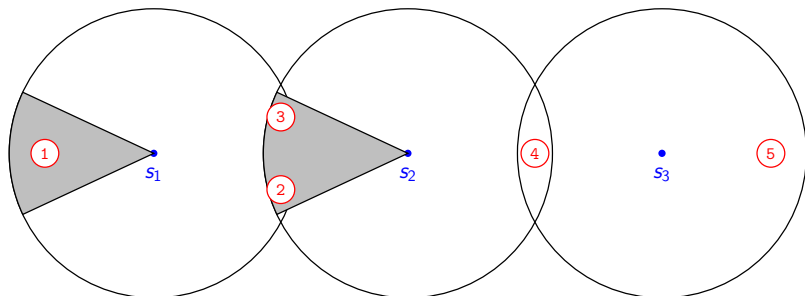
- S'il existe une cible hors de portée de tout capteur, alors le problème n'a pas de solution (la durée de vie du réseau de capteurs est nulle)
- La réciproque est fausse



- Déterminer s'il existe une couverture valide est un problème \mathcal{NP} -complet
- Conséquence : initialement, aucune colonne pour le problème maître

Initialisation du problème maître

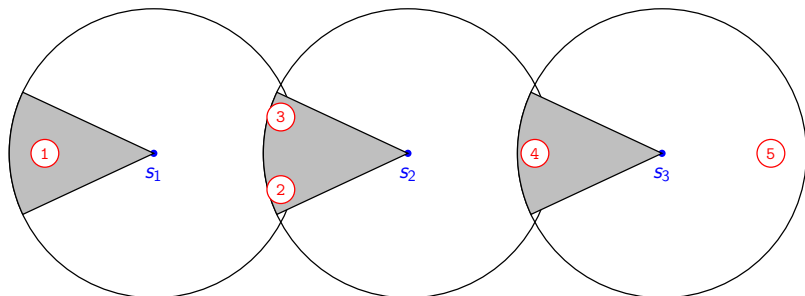
- S'il existe une cible hors de portée de tout capteur, alors le problème n'a pas de solution (la durée de vie du réseau de capteurs est nulle)
- La réciproque est fausse



- Déterminer s'il existe une couverture valide est un problème \mathcal{NP} -complet
- Conséquence : initialement, aucune colonne pour le problème maître

Initialisation du problème maître

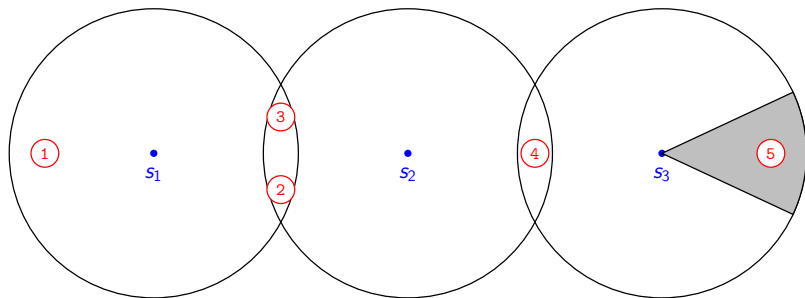
- S'il existe une cible hors de portée de tout capteur, alors le problème n'a pas de solution (la durée de vie du réseau de capteurs est nulle)
- La réciproque est fausse



- Déterminer s'il existe une couverture valide est un problème \mathcal{NP} -complet
- Conséquence : initialement, aucune colonne pour le problème maître

Initialisation du problème maître

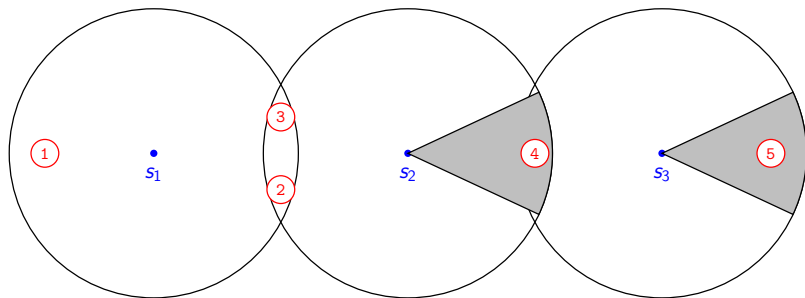
- S'il existe une cible hors de portée de tout capteur, alors le problème n'a pas de solution (la durée de vie du réseau de capteurs est nulle)
- La réciproque est fausse



- Déterminer s'il existe une couverture valide est un problème \mathcal{NP} -complet
- Conséquence : initialement, aucune colonne pour le problème maître

Initialisation du problème maître

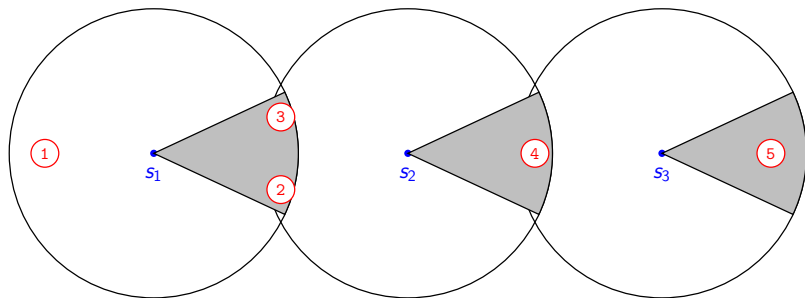
- S'il existe une cible hors de portée de tout capteur, alors le problème n'a pas de solution (la durée de vie du réseau de capteurs est nulle)
- La réciproque est fausse



- Déterminer s'il existe une couverture valide est un problème \mathcal{NP} -complet
- Conséquence : initialement, aucune colonne pour le problème maître

Initialisation du problème maître

- S'il existe une cible hors de portée de tout capteur, alors le problème n'a pas de solution (la durée de vie du réseau de capteurs est nulle)
- La réciproque est fausse



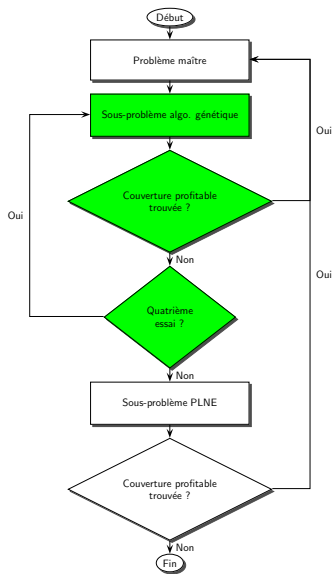
- Déterminer s'il existe une couverture valide est un problème \mathcal{NP} -complet
- Conséquence : initialement, aucune colonne pour le problème maître

- Sous-problème :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Maximiser } 1 - \sum_{i=1}^n \left(\sum_{q=1}^{\sigma_i} A_{g_i+q,j} \right) \pi_i \\ \sum_{q=1}^{\sigma_i} A_{g_i+q,j} \leq 1 \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \\ \sum_{h \in C_k} A_{h,j} \geq 1 \quad \forall k \in \{1, \dots, m\} \\ \sum_{i=1}^n \sum_{q=1}^{\sigma_i} A_{g_i+q,j} \leq m \\ A_{g_i+q,j} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall q \in \{1, \dots, \sigma_i\} \end{array} \right.$$

- On utilise un algorithme génétique pour retourner plusieurs couvertures profitables
- On n'utilise la formulation PLNE qu'en cas d'échec de l'algorithme génétique

Stratégie globale de l'algorithme de génération de colonnes



Intérêt de l'algorithme génétique pour le sous-problème

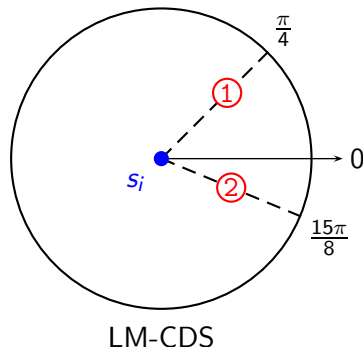
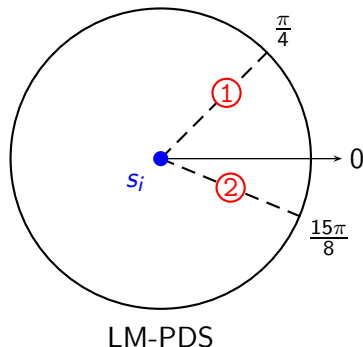
n	φ	PLNE seul	Algo géné + PLNE	Facteur d'accélération
50	$\frac{2\pi}{3}$	0.250	0.046	5.435
	$\frac{\pi}{2}$	0.312	0.062	5.032
	$\frac{\pi}{3}$	0.234	0.063	3.714
100	$\frac{2\pi}{3}$	1.840	0.281	6.548
	$\frac{\pi}{2}$	3.713	0.265	14.011
	$\frac{\pi}{3}$	5.273	0.281	18.765

Temps de calcul en secondes

- Plus l'amplitude du secteur angulaire φ est petite, plus le problème est difficile
- L'intérêt de l'algorithme génétique s'accroît avec la difficulté des instances

Comparaison des deux versions du problème

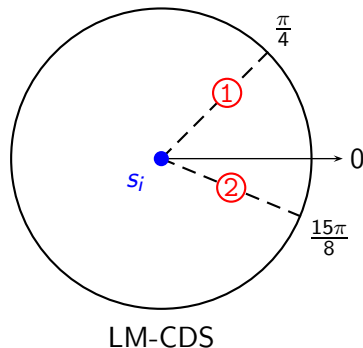
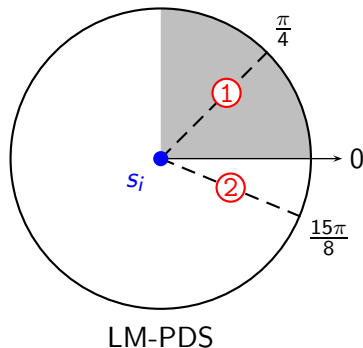
- LM-PDS : directions prédéfinies, LM-CDS : directions à déterminer
- LM-PDS peut être non réalisable alors que LM-CDS l'est



- la durée de vie du réseau dans le cas de LM-CDS est supérieure ou égale à ce qu'elle est pour LM-PDS.

Comparaison des deux versions du problème

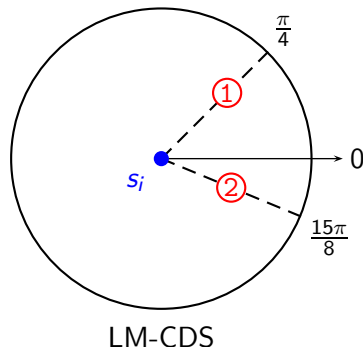
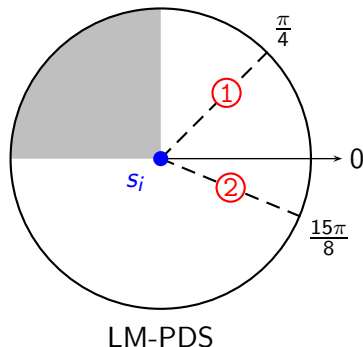
- LM-PDS : directions prédéfinies, LM-CDS : directions à déterminer
- LM-PDS peut être non réalisable alors que LM-CDS l'est



- la durée de vie du réseau dans le cas de LM-CDS est supérieure ou égale à ce qu'elle est pour LM-PDS.

Comparaison des deux versions du problème

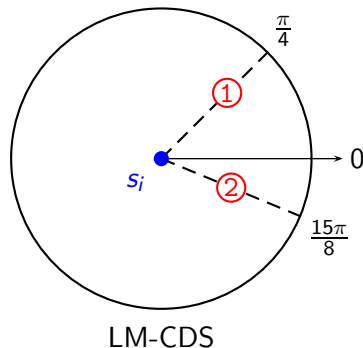
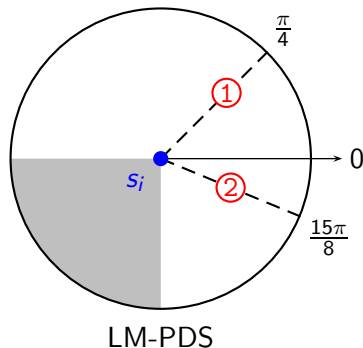
- LM-PDS : directions prédéfinies, LM-CDS : directions à déterminer
- LM-PDS peut être non réalisable alors que LM-CDS l'est



- la durée de vie du réseau dans le cas de LM-CDS est supérieure ou égale à ce qu'elle est pour LM-PDS.

Comparaison des deux versions du problème

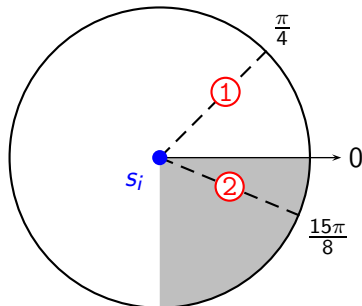
- LM-PDS : directions prédéfinies, LM-CDS : directions à déterminer
- LM-PDS peut être non réalisable alors que LM-CDS l'est



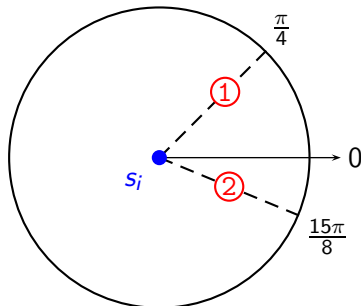
- la durée de vie du réseau dans le cas de LM-CDS est supérieure ou égale à ce qu'elle est pour LM-PDS.

Comparaison des deux versions du problème

- LM-PDS : directions prédéfinies, LM-CDS : directions à déterminer
- LM-PDS peut être non réalisable alors que LM-CDS l'est



LM-PDS

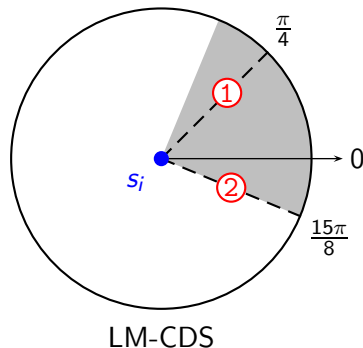
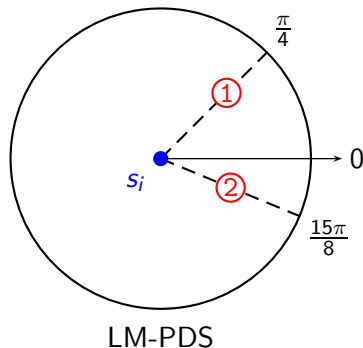


LM-CDS

- la durée de vie du réseau dans le cas de LM-CDS est supérieure ou égale à ce qu'elle est pour LM-PDS.

Comparaison des deux versions du problème

- LM-PDS : directions prédéfinies, LM-CDS : directions à déterminer
- LM-PDS peut être non réalisable alors que LM-CDS l'est



- la durée de vie du réseau dans le cas de LM-CDS est supérieure ou égale à ce qu'elle est pour LM-PDS.

n	φ	LM-PDS			LM-CDS			De LM-PDS à LM-CDS	
		# opt.	avg. LT	avg. CPU	# opt.	avg. LT	avg. CPU	avg. LT	avg. CPU
50	$\frac{2\pi}{3}$	5	2.94	0.14	5	3.60	0.06	+22.58%	-56.91%
	$\frac{\pi}{2}$	5	2.91	0.10	5	3.60	0.12	+23.75%	+18.06%
	$\frac{\pi}{3}$	5	2.65	0.17	5	3.21	0.11	+20.91%	-35.91%
100	$\frac{2\pi}{3}$	5	5.97	248.13	5	6.60	1.98	+10.63%	-99.20%
	$\frac{\pi}{2}$	5	5.49	87.46	4	6.35	0.72	+15.62%	-97.63%
	$\frac{\pi}{3}$	4	4.82	336.69	2	5.71	0.36	+18.39%	-31.29%
200	$\frac{2\pi}{3}$	4	12.93	14.26	4	13.82	6.09	+6.88%	-57.31%
	$\frac{\pi}{2}$	1	11.30	6.05	3	13.01	15.24	+15.13%	-55.16%
	$\frac{\pi}{3}$	0	9.42	dnf	1	10.95	11.03	+16.22%	-
400	$\frac{2\pi}{3}$	0	25.90	dnf	1	29.58	1085.15	+14.21%	-
	$\frac{\pi}{2}$	0	20.68	dnf	0	24.58	dnf	+18.87%	-
	$\frac{\pi}{3}$	0	16.19	dnf	0	18.38	dnf	+13.53%	-

- LM-CDS permet de prolonger la durée de vie d'au moins 10% par rapport à LM-PDS
- LM-CDS n'est pas plus difficile que LM-PDS

- Maximisation de la durée de vie pour capteurs directionnels
 - ▶ Pour des directions prédéfinies
 - ▶ Pour des directions à déterminer
- La version avec directions à déterminer est la plus pertinente
- Génération de colonnes exploitant un algorithme génétique
- *Matheuristique* très efficace, facilement adaptable, basée sur un code libre (C et GLPK)
- Méthode exacte pouvant servir d'heuristique
- Prise en compte de la connectivité
- Utilisation de modèles de consommation plus réalistes