

## Distribution d'énergie

Marwan Bellouti, Constantin Mpocas, Damien Wiltgen, Quentin Stiévenart  
Filière informatique

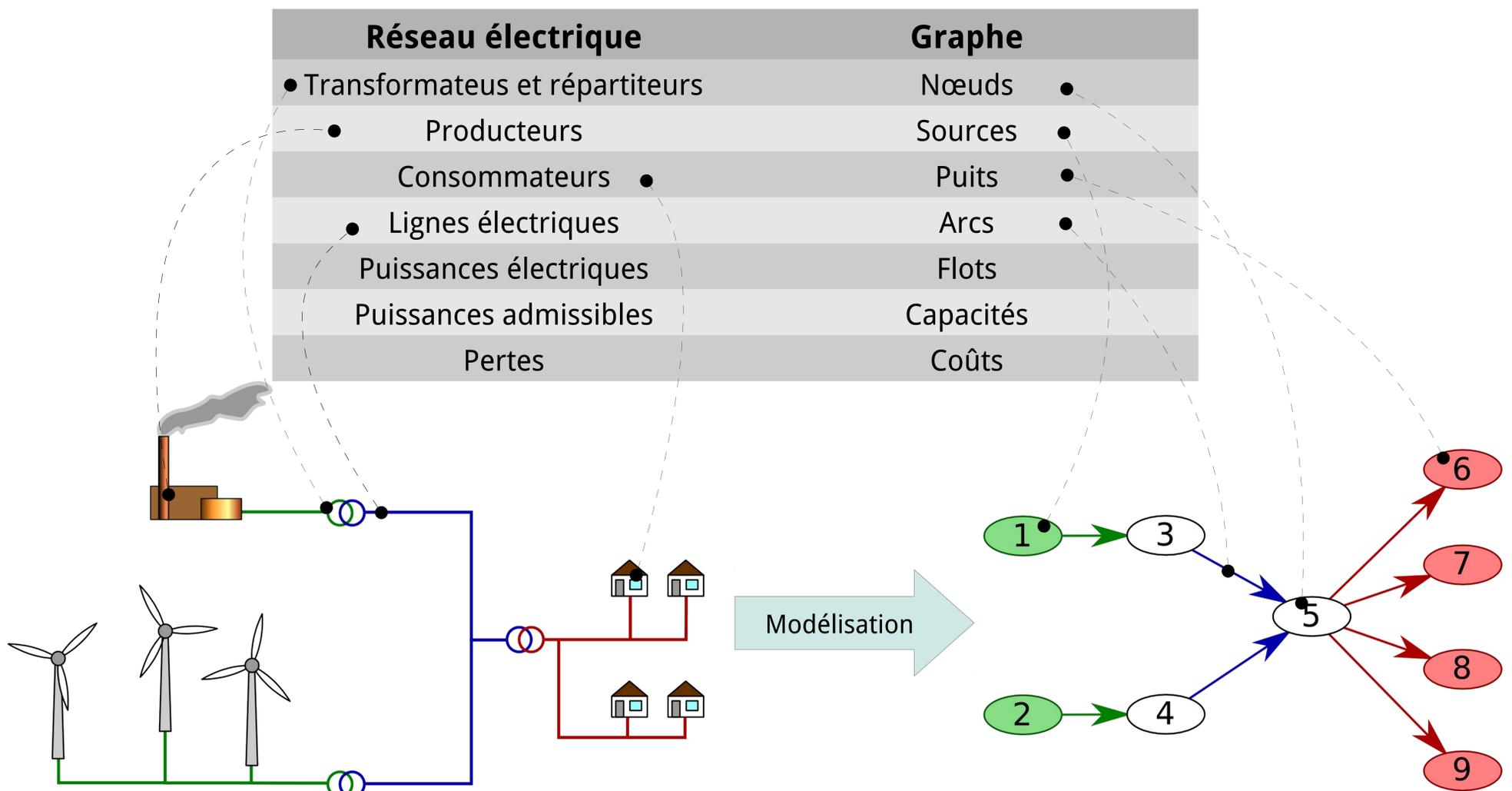
### Définition du projet

L'objectif de ce projet est de modéliser un réseau de transport et de distribution d'électricité, afin de répartir la charge dans ce réseau et de minimiser les coûts. Il faut aussi tenir compte de la possibilité d'une indisponibilité technique d'un élément du réseau.

### Modélisation

Le réseau de distribution d'électricité permet de distribuer de l'énergie des producteurs (centrales, parcs éoliens, ...) vers les consommateurs (commerce, logements, ...). L'électricité est transportée via les lignes électriques et passe dans des transformateurs et répartiteurs.

Pour modéliser cela, on utilise un graphe orienté (un ensemble de points, appelés *noeuds*, reliés entre eux via des *arcs*). Les équivalences entre le réseau et sa modélisation sont explicitées dans le tableau suivant:



### Résolution

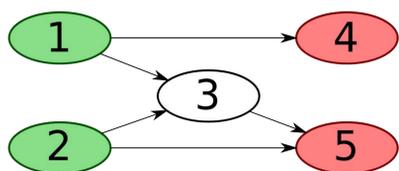
Une fois le réseau modélisé, on souhaite répartir le flot dans celui-ci afin d'avoir le flot total maximum. Le flot total est la somme du flot passant dans chaque arc, c'est donc la puissance électrique totale distribuée. Idéalement, on veut le flot maximal ayant un coût minimal. Le coût est la somme du coût de chaque arc contenant un certain flot.

## Distribution d'énergie

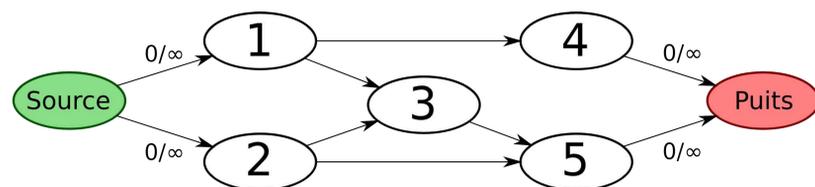
Marwan Bellouti, Constantin Mpocas, Damien Wiltgen, Quentin Stiévenart  
Filière informatique

### Super-source et super-puits

Les algorithmes de résolution du problème ne fonctionnent qu'avec une source et un puits. Si notre réseau contient plusieurs sources ou plusieurs puits, il faut les relier à une super-source et un super-puits via des arcs de capacités infinies.



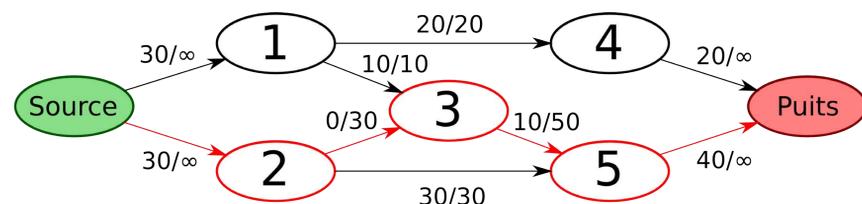
Réseau contenant deux sources et deux puits



Le même réseau après l'ajout de la super-source et du super-puits

### Chemin augmentant

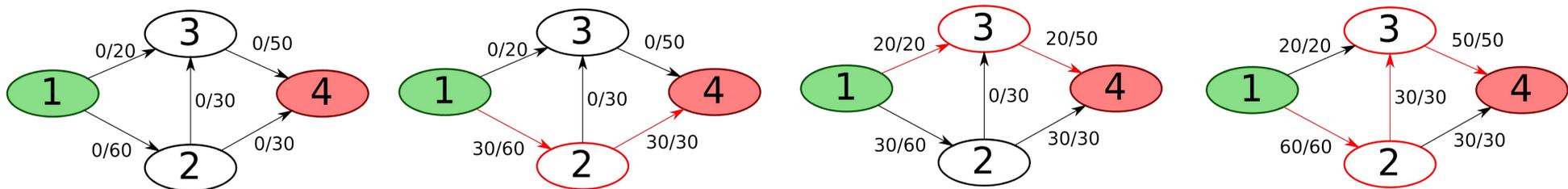
Les algorithmes utilisés utilisent tous le concept de chemin augmentant. Un chemin augmentant est un chemin de la source vers le puits sur lequel il est encore possible d'ajouter du flot.



Réseau dont l'unique chemin augmentant est représenté en rouge.

### Algorithmes de résolution

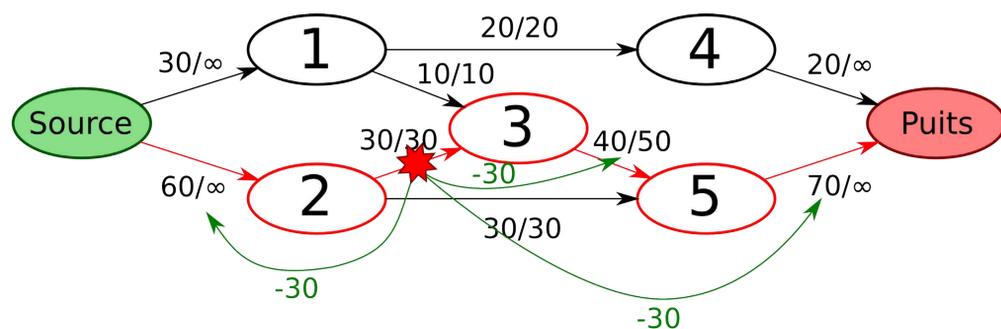
Les algorithmes que nous utilisons se basent tous sur l'algorithme trouvé par Ford et Fulkerson en 1955. Un exemple d'exécution de cet algorithme est décrit dans les figures suivantes.



L'algorithme consiste donc à choisir, tant qu'il en existe, un chemin augmentant et à l'appliquer. Le choix du chemin augmentant dépend de la variante de l'algorithme utilisé (Ford-Fulkerson, Edmonds-Karp, Dinits, coût minimum).

### Cassure de lien

Lorsqu'intervient une défaillance d'un lien, tout le flot qui passait par ce lien doit être enlevé du graphe. Pour arriver à faire cela, on peut retenir chaque chemin augmentant utilisé par l'algorithme, et lors de la cassure, on annule tous les chemins augmentants contenant l'arc en question.



## La distribution d'énergie

Rodriguez Paul, Vaccari Eric, Meulemans Julien et Schoonjans Hélain  
Département d'Informatique

Transporter un maximum d'énergie à moindre coût est plus compliqué qu'il n'y paraît !

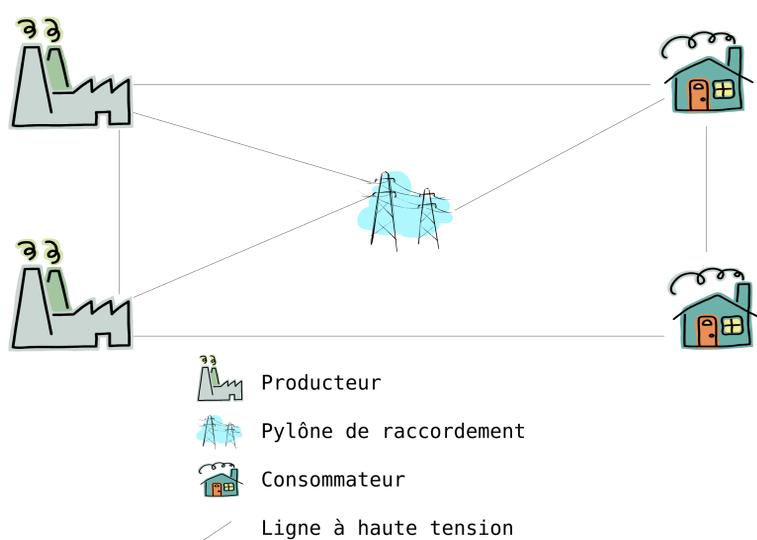
### Description de la problématique :

Le gestionnaire du réseau électrique a décidé de faire des économies au niveau du transport de l'énergie depuis les producteurs vers les consommateurs. Son but est de satisfaire la demande des consommateurs de manière à ce que cela lui coûte le moins possible.

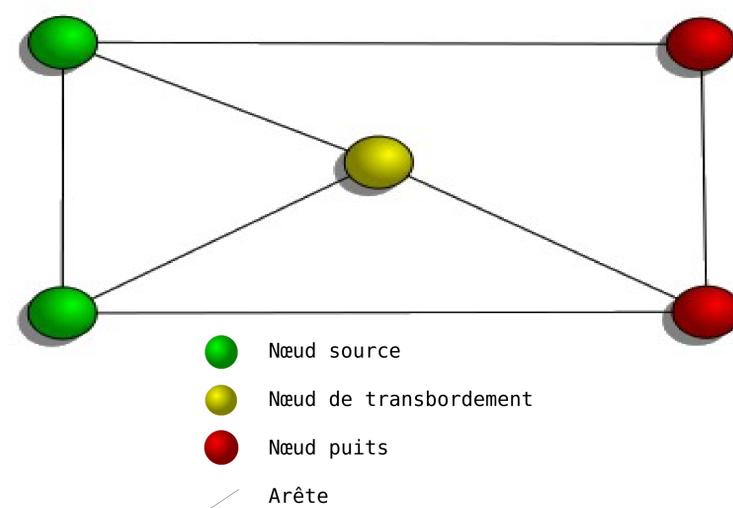
De plus, le gestionnaire voudrait être capable de réagir rapidement en cas de panne d'un élément du réseau, en réarrangeant la distribution d'énergie.

### Modélisation du problème :

Le réseau électrique considéré ...



... sa représentation : un graphe

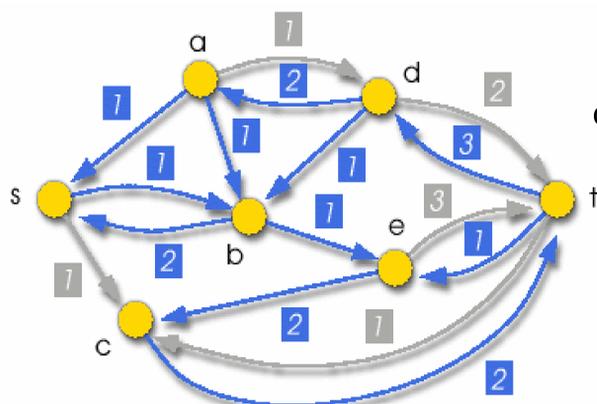


Une unité d'énergie passant sur une ligne à haute tension engendre un coût dû à l'effet Joule. Celui-ci sera représenté par un coût unitaire pour chaque arête.

### Algorithme optimal et heuristique :

Minimiser le coût tout en maximisant la quantité transportée peut être trivial pour de petits réseaux mais, lorsque ceux-ci deviennent complexes, cela devient impossible à réaliser manuellement.

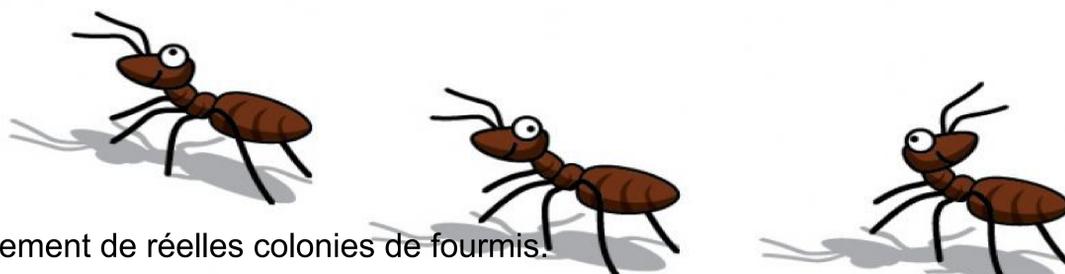
#### L'algorithme optimal : chemins augmentants



La méthode des chemins augmentants cherche le plus court chemin, en fonction des coûts, des producteurs vers les consommateurs. Tant qu'il existe encore un tel chemin, celui-ci est saturé afin d'y faire passer un maximum de flux à faible coût.

#### L'algorithme heuristique : colonie de fourmis

La méthode de colonie de fourmis s'inspire du comportement de réelles colonies de fourmis. Chaque fourmi est une entité possédant des capacités limitées, autant au niveau de la mémoire que du raisonnement mais en travaillant ensemble, elles sont capables de résoudre rapidement des problèmes complexes.

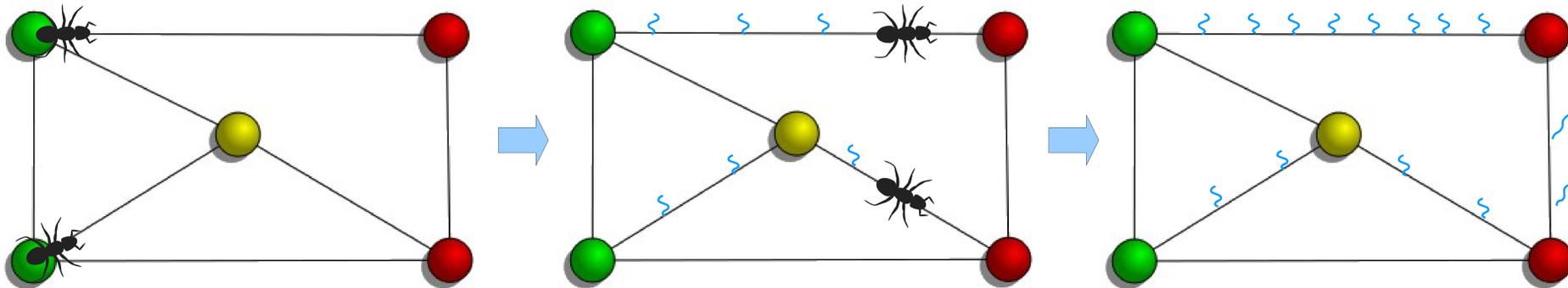


## La distribution d'énergie

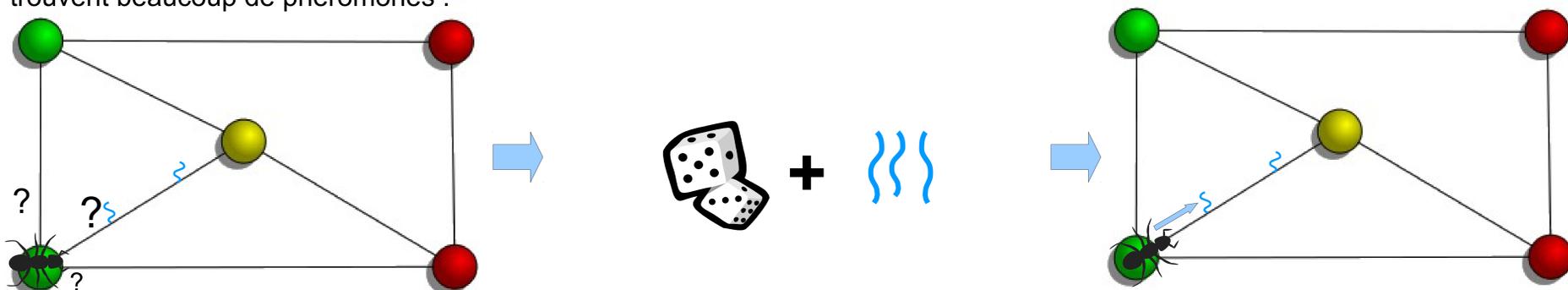
Rodriguez Paul, Vaccari Eric, Meulemans Julien et Schoonjans Hélain  
Département d'Informatique

### Un exemple illustratif :

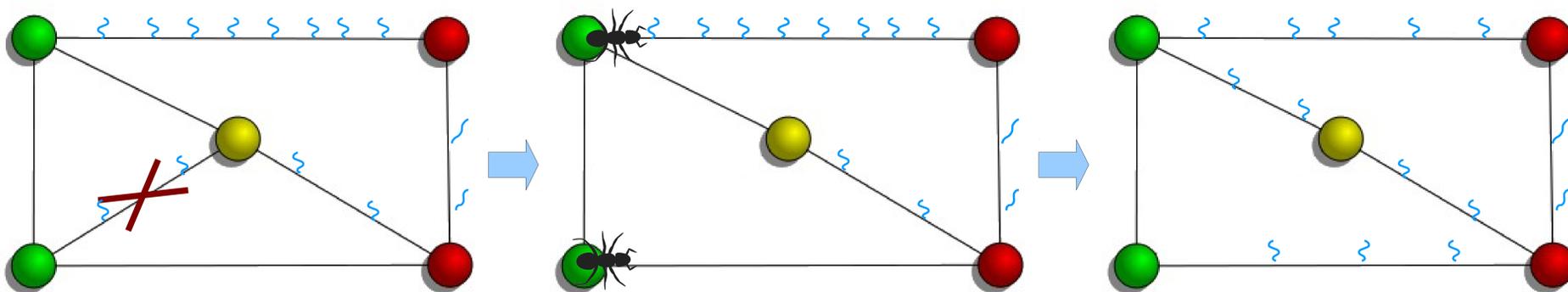
Chaque fourmi transporte un maximum d'unités de flux des sources vers les puits, en déposant des phéromones sur son passage :



À chaque nœud, la fourmi choisit aléatoirement la nouvelle arête à emprunter, avec une préférence pour celles sur lesquelles se trouvent beaucoup de phéromones :



En cas de panne, il suffit de retirer l'élément défectueux du graphe et de relancer les fourmis sans enlever les phéromones. La solution est rapidement adaptée :



### Comparaison :

#### Chemins augmentants :

##### Avantages :

- Optimalité de la solution

##### Inconvénients :

- Coûteux pour un problème de grande taille ;
- Ne fonctionne que sur un graphe statique

#### Colonie de fourmis :

##### Avantages :

- Approximation rapide de la solution optimale pour toute taille du problème ;
- Adaptation rapide suite à une panne.

##### Inconvénients :

- Aucune garantie d'optimalité.

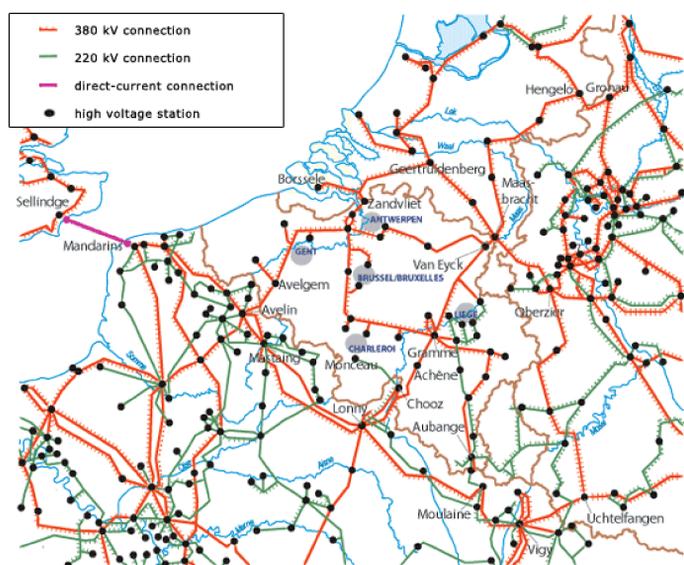
## Distribution d'énergie

Azmi Driss, Alexandre Kühn, Karim Ehab, William Chelman  
Filière Informatique

### L'informatique au service des réseaux électriques...

#### Définition

La distribution d'énergie au travers des réseaux électriques consiste à trouver le meilleur moyen d'acheminer l'électricité des centrales au consommateur.



#### Comment trouver le meilleur chemin ?

En effet plusieurs chemins sont possibles. Le meilleur sera le plus court et le moins cher... pas si évident que ça lorsque le réseau est complexe (cf. ci-contre). Heureusement, il existe une théorie mathématique et informatique qui permet de résoudre le problème plus simplement via une représentation graphique naturelle. Il s'agit de la *théorie des graphes*.

#### Vous avez dit... théorie des graphes ?

Un graphe est un ensemble de points reliés constitué de :

##### ➤ **Sommets (N)**

###### ❖ **Offre/Demande**

- > 0 : fournisseur
- < 0 : client
- = 0 : relais

##### ➤ **Arcs (A), les lignes électriques**

- ❖ **Flot**, énergie dans la ligne
- ❖ **Capacité**
- ❖ **Coût**

#### Quelle résolution adopter ?

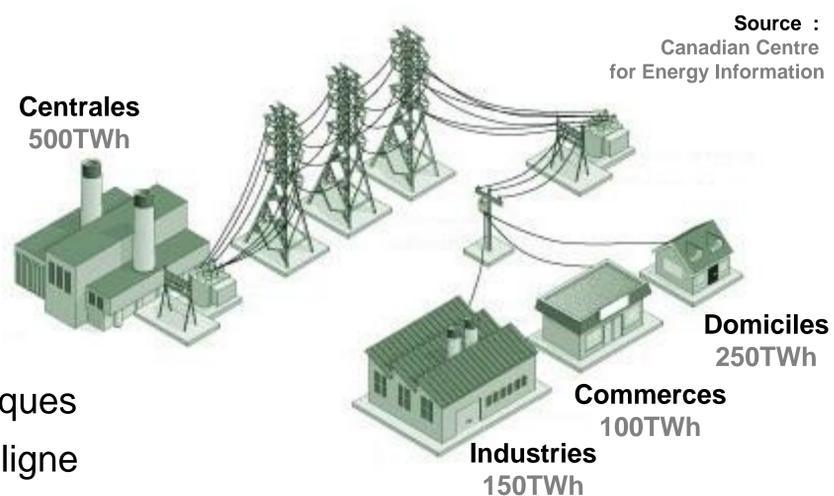
##### ➔ **Algorithme performant** : plus courts chemins successifs

- ❖ **Principe** : ajouter des flots respectant les critères d'optimalité
- ❖ **Avantage** : rapide
- ❖ **Inconvénient** : résolution « à vide »

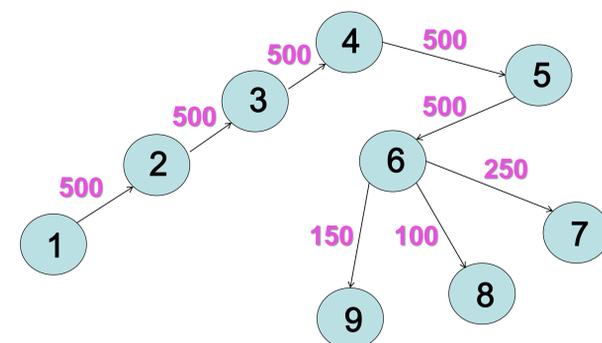
##### ➔ **Algorithme heuristique**

Un algorithme heuristique donne une solution approchée, par itérations, à partir d'une solution de base.

- ❖ **Principe** : d'une solution réalisable, modifier la répartition des flots jusqu'à l'optimalité
- ❖ **Avantage** : flexibilité et rapide pour une solution approchée
- ❖ **Inconvénient** : lent pour l'optimalité



Source : Canadian Centre for Energy Information

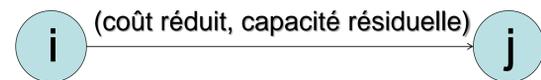
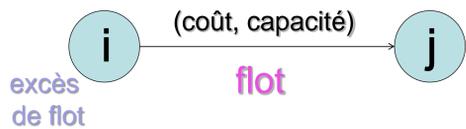


## Distribution d'énergie

Azmi Driss, Alexandre Kühn, Karim Ehab, William Chelman  
Filière Informatique

### Algorithme de plus courts chemins successifs – Exemple illustratif

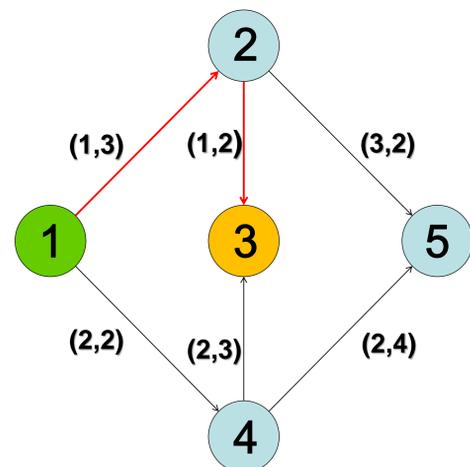
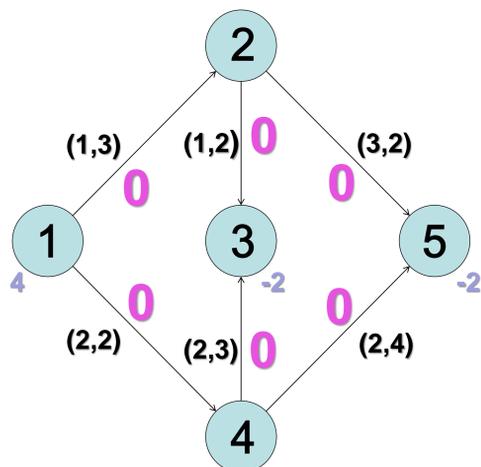
Notations :



#### Graphe réel

#### Graphe associé

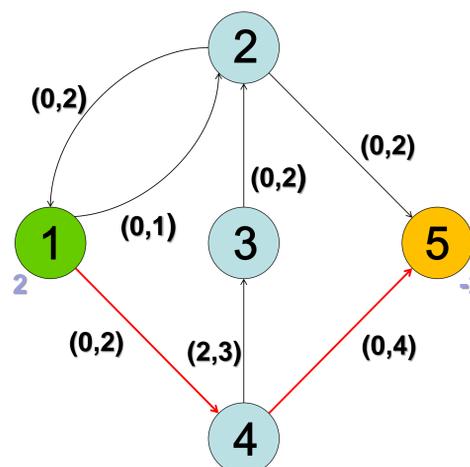
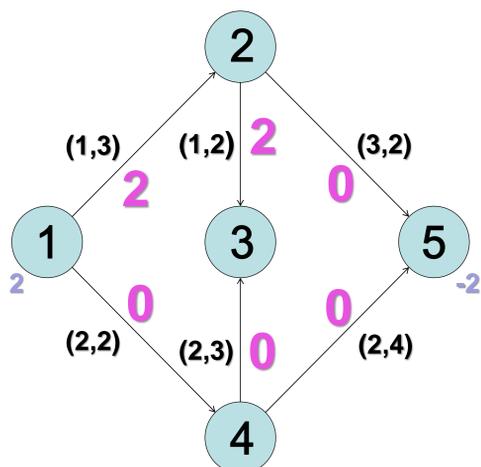
1



Fournisseur : - 1 (4 unités)  
Clients : - 3 (2 unités)  
                  - 5 (2 unités)

- Établissement du graphe associé
- Choix d'un sommet en excès et d'un sommet en manque
- Détermination du chemin de moindre coût (en rouge)
- Augmentation du flot

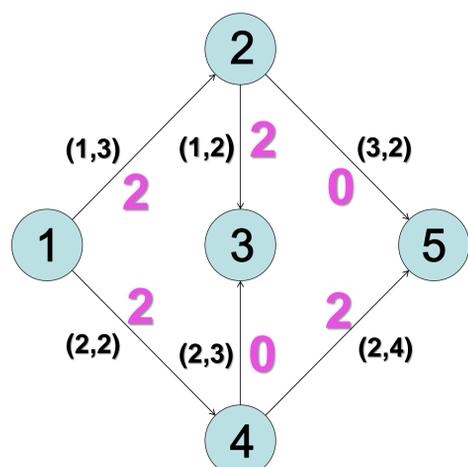
2



En excès : - 1 (2 unités)  
En manque : - 5 (2 unités)

- Établissement du graphe associé
- Choix du chemin en rouge (pourquoi pas 1-2-5 ?)
- Augmentation du flot

3



→ La solution est optimale !