

# Amphi de révision : Algorithmique et complexité

Mattéo Rizza Murgier

19 janvier 2026



- L'examen dure 3h ;
- Vous avez le droit à des documents **manuscrits** ;
- Les chapitres 1 à 6, ainsi que les chapitres de pré-requis sont au programme de l'examen.

## Attention

La structure et le contenu du cours ont changé par rapport à l'année dernière. Certains concepts ont été ajoutés au cours et seront mis en évidence dans ce qui suit.

# 1 Algorithmes de graphes

2 Complexité : problèmes P et NP

3 Algorithmes de résolution exacte

4 Algorithmes d'approximation

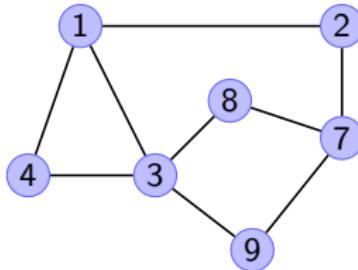
5 Programmation dynamique

6 Graphes de flots

## Définition - Graphe non-orienté

On note  $G = (V, E)$  où :

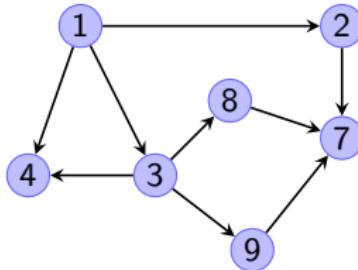
- $V$  est un ensemble de nœuds ;
- $E$  est un ensemble d'arêtes ;
- Une arête  $e = (u, v)$  est une paire d'éléments de  $V$ .



## Définition - Graphe orienté

On note  $G = (V, E)$  où :

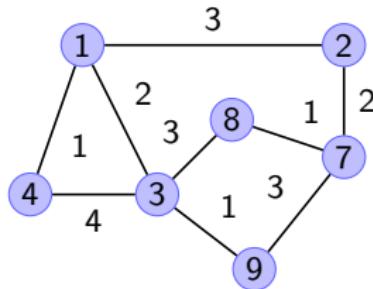
- $V$  est un ensemble de nœuds ;
- $E$  est un ensemble d'arcs ;
- Une arête  $e = (u, v)$  est un couple d'éléments de  $V$ .



## Définition - Graphe pondéré

On note  $G = (V, E, w)$  où :

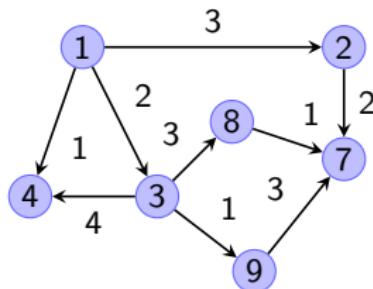
- $V$  est un ensemble de nœuds ;
- $E$  est un ensemble d'arêtes ;
- Une arête  $e = (u, v)$  est une paire d'éléments de  $V$ .
- $w : E \rightarrow \mathbb{R}$  est une fonction de pondération



## Définition - Graphe orienté pondéré

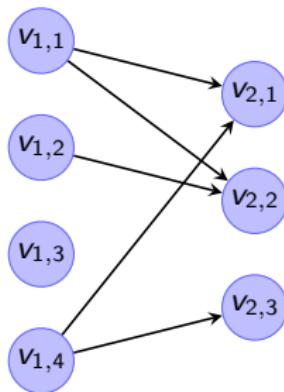
On note  $G = (V, E, w)$  où :

- $V$  est un ensemble de nœuds ;
- $E$  est un ensemble d'arêtes ;
- Une arête  $e = (u, v)$  est une paire d'éléments de  $V$ .
- $w : E \rightarrow \mathbb{R}$  est une fonction de pondération



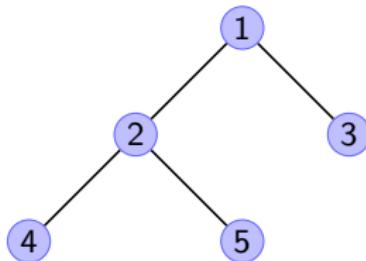
## Graphe biparti

Graphe dont l'ensemble des sommets  $V$  peut être partitionné en deux ensembles  $V_1$  et  $V_2$  tels que chaque arête a une extrémité dans  $V_1$  et l'autre dans  $V_2$ .



## Arbre

Graphe acyclique et connexe (il existe un chemin entre toute paire de sommets).



## Idée de l'algorithme

Lorsqu'on visite un nœud, on le marque comme visité, puis on visite immédiatement le premier de ses voisins qui n'a pas encore été vu, et ainsi de suite.

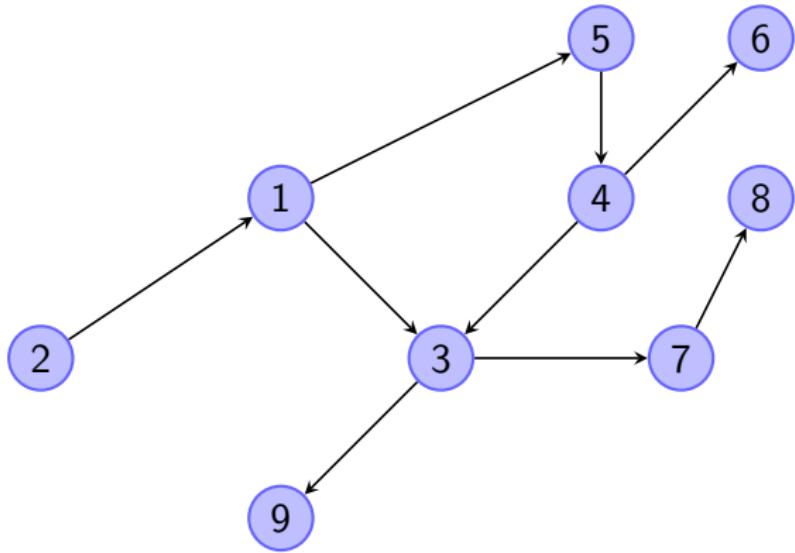
Complexité :  $O(|V| + |E|)$  avec une liste d'adjacence

On peut soit utiliser une structure de pile (dernier arrivé, premier sorti), soit écrire une fonction récursive.

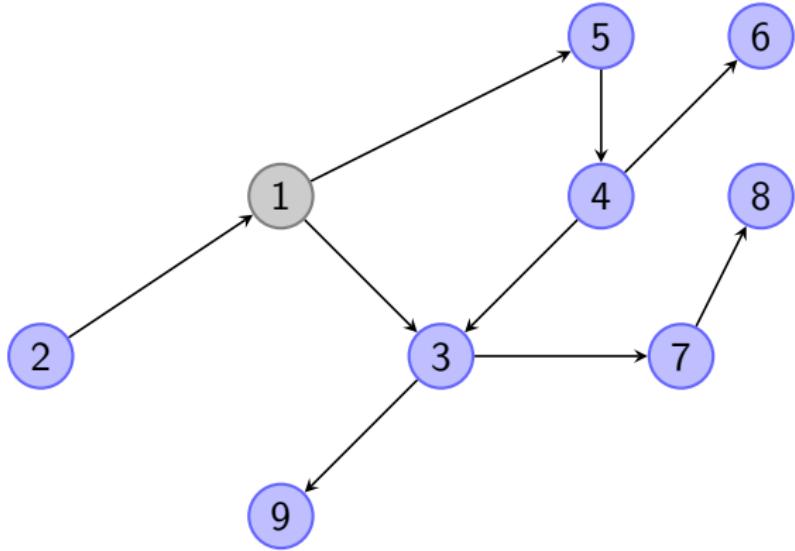
Pour un graphe sous forme de listes d'adjacence :

```
def dfs(start_node, graph):  
  
    visited = {}  
    def visit(node):  
        visited[node] = True  
  
        for v in graph[node]:  
            if v not in visited:  
                visit(v)  
  
    visit(start_node)
```

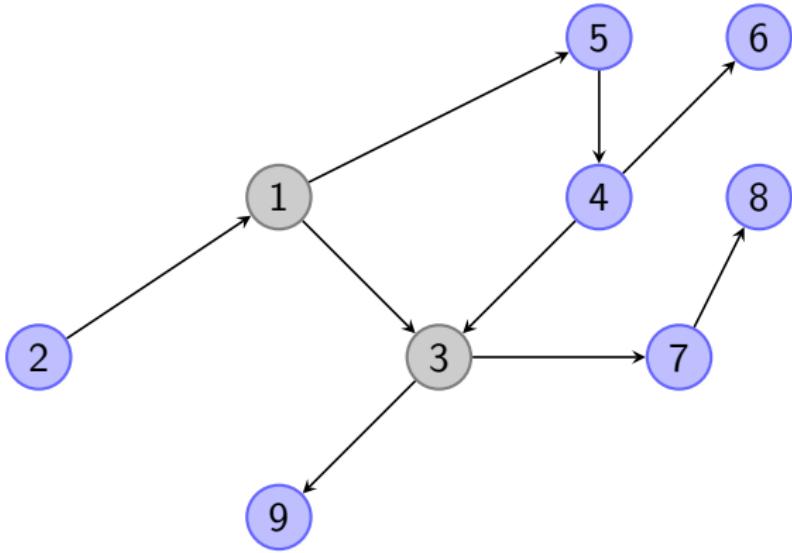
# Parcours en profondeur



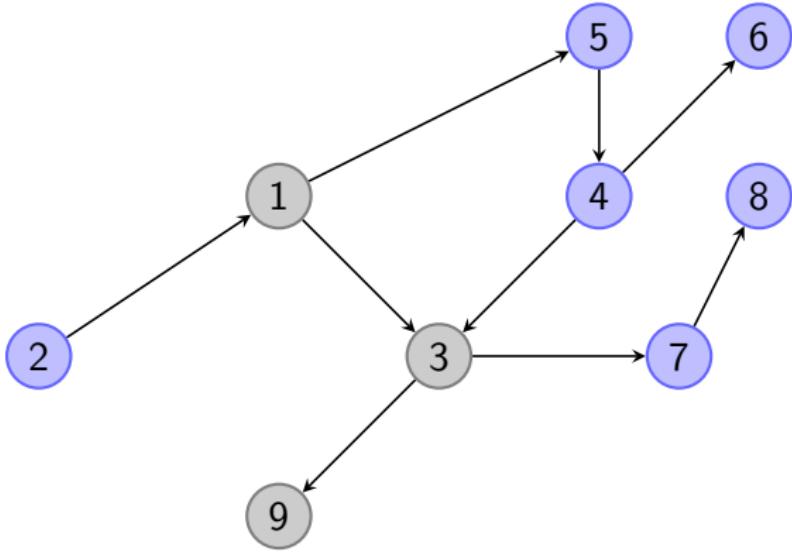
## Parcours en profondeur



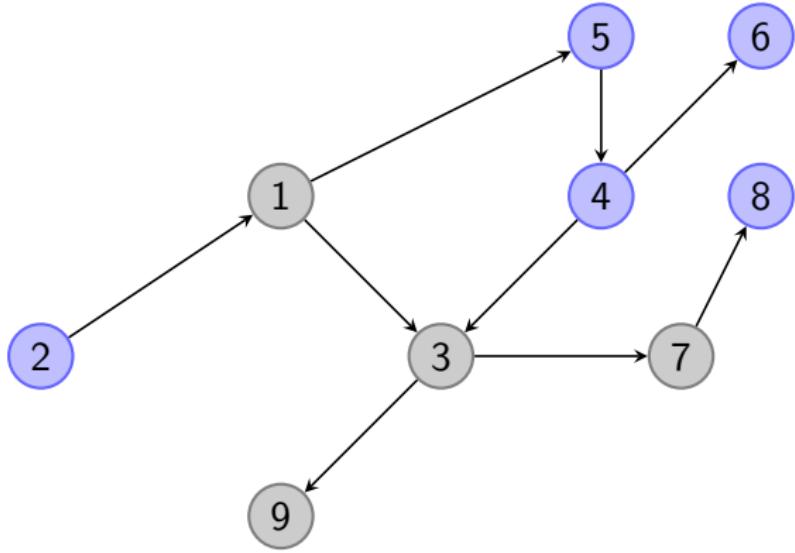
# Parcours en profondeur



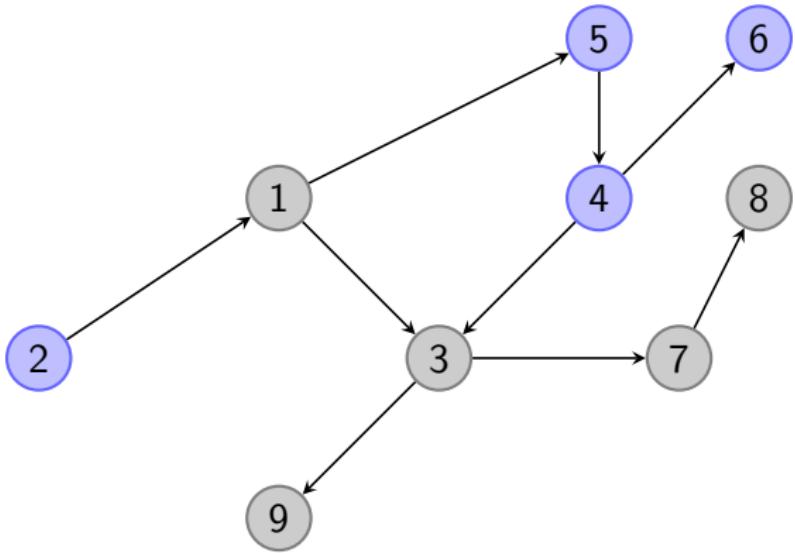
## Parcours en profondeur



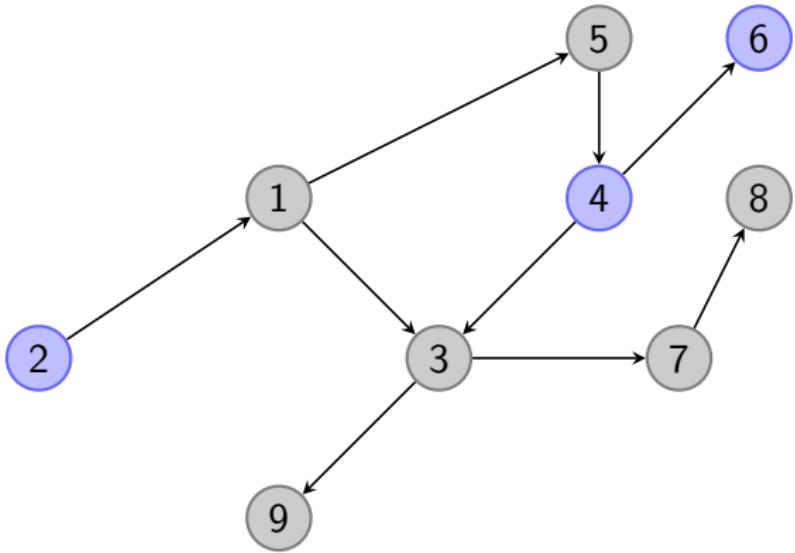
## Parcours en profondeur



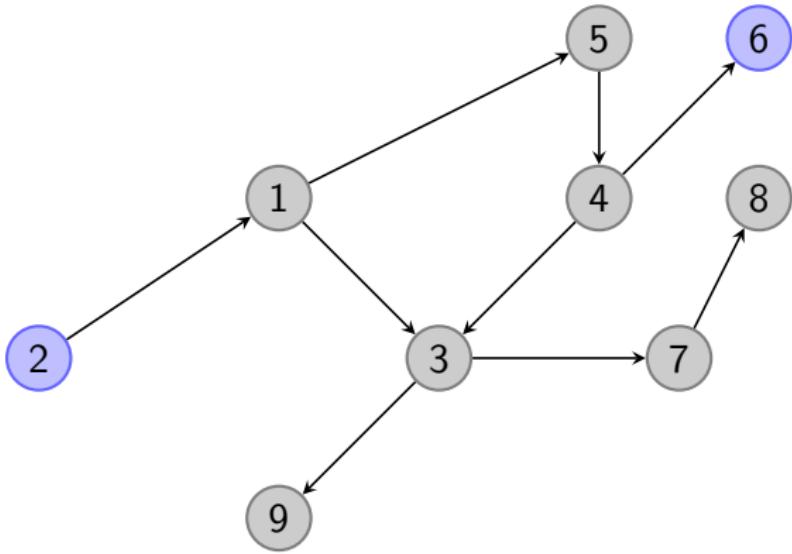
## Parcours en profondeur



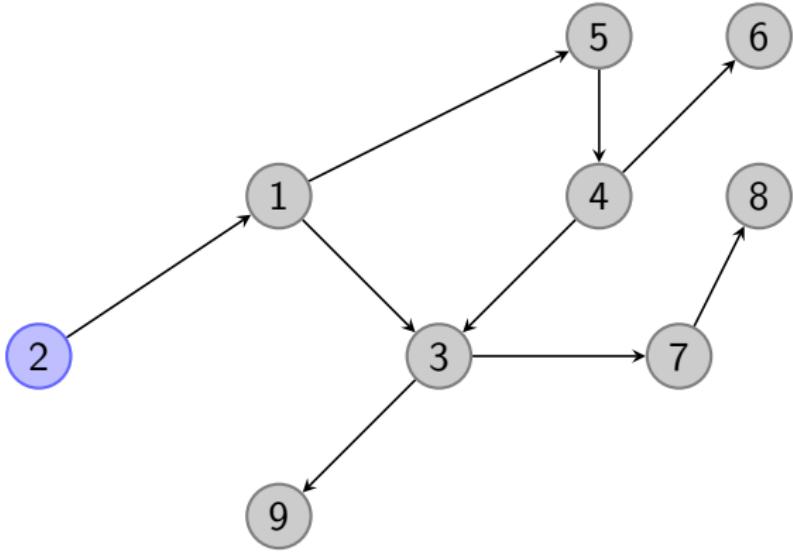
# Parcours en profondeur



## Parcours en profondeur



## Parcours en profondeur



## Principe de l'algorithme

Lorsqu'on visite un nœud, on le marque comme visité, puis on visite successivement l'ensemble de ses voisins avant de passer à la suite.

Complexité :  $O(|V| + |E|)$  avec une liste d'adjacence

On écrit une fonction itérative en utilisant une structure de file (premier arrivé, premier sorti).

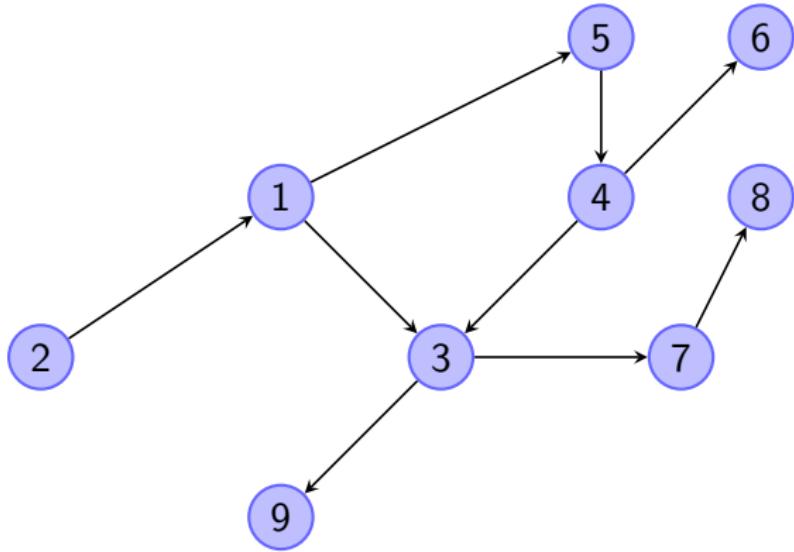
Pour un graphe sous forme de listes d'adjacence :

```
def bfs(start_node, graph):
    visited = {start_node: True}
    queue = deque([start_node])

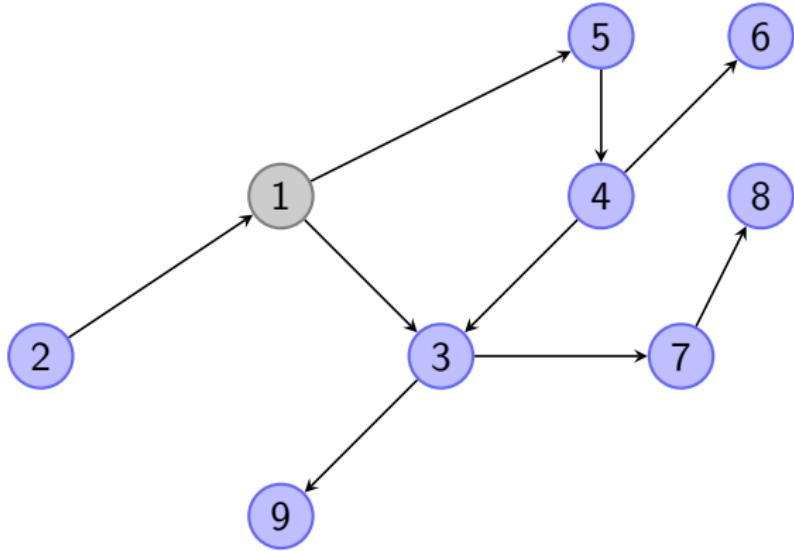
    while queue:
        node = queue.popleft()

        for v in graph[node]:
            if v not in visited:
                visited[v] = True
                queue.append(v)
```

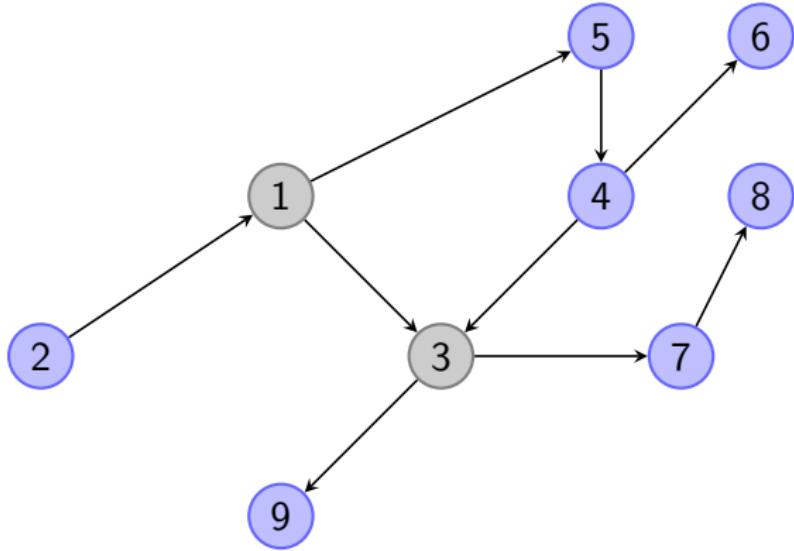
## Parcours en largeur



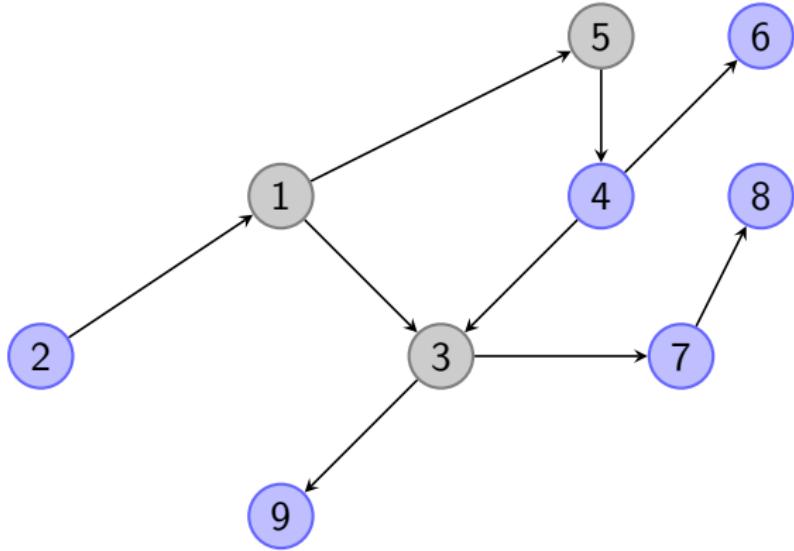
## Parcours en largeur



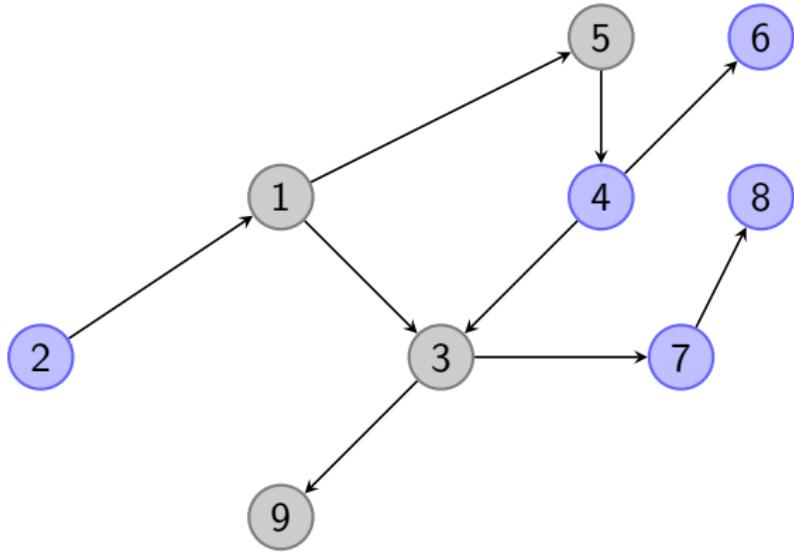
## Parcours en largeur



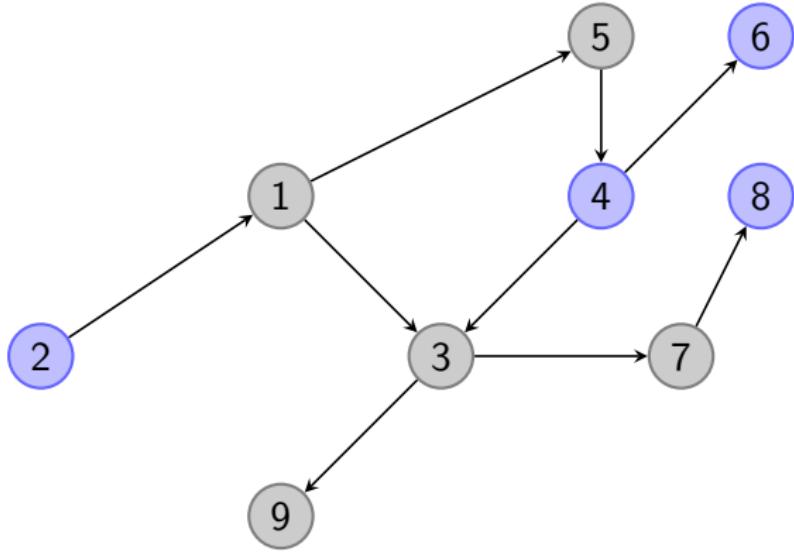
## Parcours en largeur



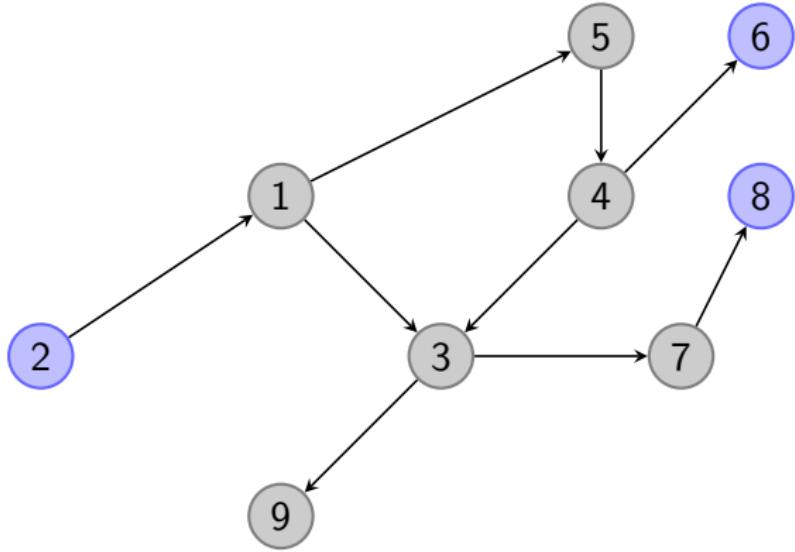
## Parcours en largeur



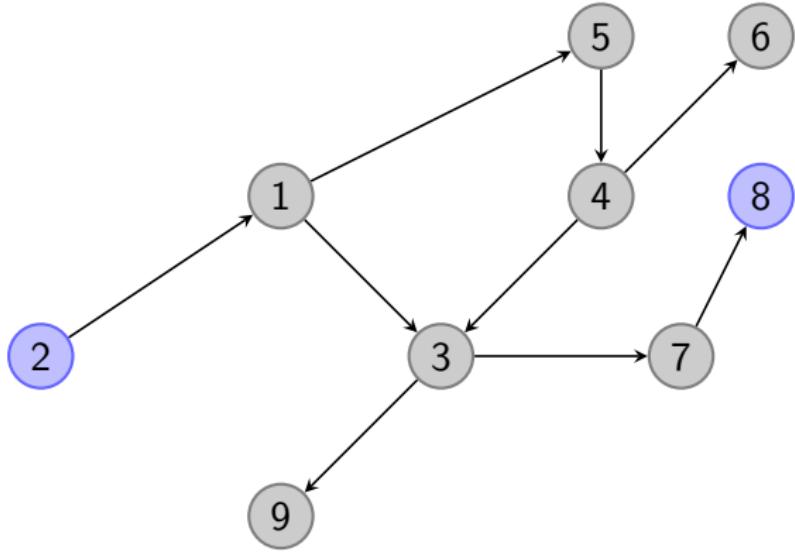
## Parcours en largeur



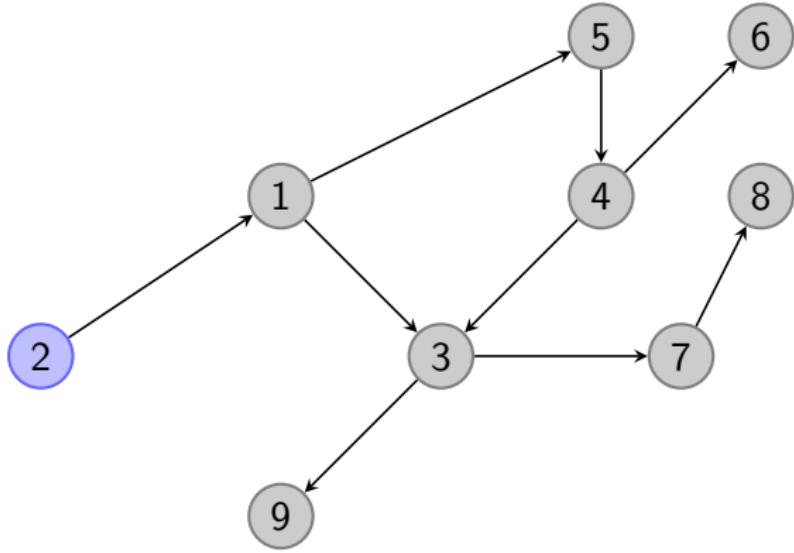
## Parcours en largeur



## Parcours en largeur



## Parcours en largeur



## Optimalité de BFS

Pour des graphes **non-pondérés**, le parcours en largeur nous donne le plus court chemin entre le nœud de départ et tous les autres nœuds du graphe.

Mais comment trouver le plus court chemin entre deux nœuds dans un graphe pondéré ?

## Optimalité de Dijkstra

Pour des graphes **pondérés** à poids **positifs**, l'algorithme de Dijkstra nous donne le plus court chemin entre le nœud de départ et tous les autres nœuds du graphe.

## Attention !

Si le graphe contient des arêtes de poids strictement négatif, l'algorithme de Dijkstra peut retourner un chemin non-optimal.

## Principe de l'algorithme

On fait un parcours en largeur en visitant les voisins dans un ordre qui dépend du poids des arêtes. En pratique, on remplace la file classique par une file de priorité (tas min ou tas de Fibonacci).

Complexité :  $O(|E|\log(|V|))$  avec un tas binaire

# Algorithme de Dijkstra

**Entrées :** Un graphe  $G = (V, E, w)$ , un sommet de départ  $s$

**Algorithme :**

$distance[u] \leftarrow +\infty$  pour tout sommet  $u \in V$

$distance[s] \leftarrow 0$

$parent[u] \leftarrow u$  pour tout  $u \in V$

$F \leftarrow$  File de priorité vide

▷ Frontière

**Enfiler**( $F$ ,  $(0, s)$ )

**tant que** non **EstVide**( $F$ ) **faire**

$u \leftarrow$  **Defiler**( $F$ ) ▷ Sommet avec  $distance[u]$  minimum

**pour** chaque voisin  $v$  de  $u$  **faire**

**si**  $distance[u] + w(u, v) < distance[v]$  **alors**

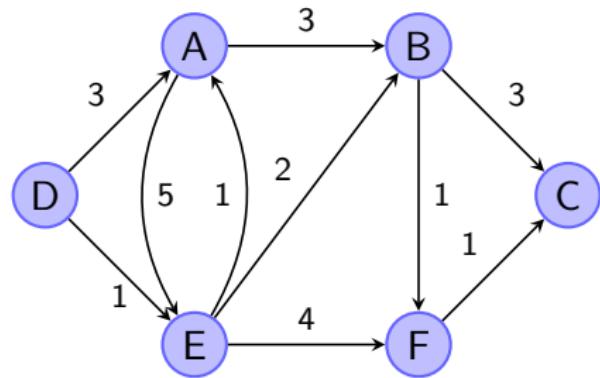
$distance[v] \leftarrow distance[u] + w(u, v)$

$parent[v] \leftarrow u$

**Mise à jour** de  $v$  dans  $F$  avec la priorité  $distance[v]$

**retourner** ( $distance, parent$ )

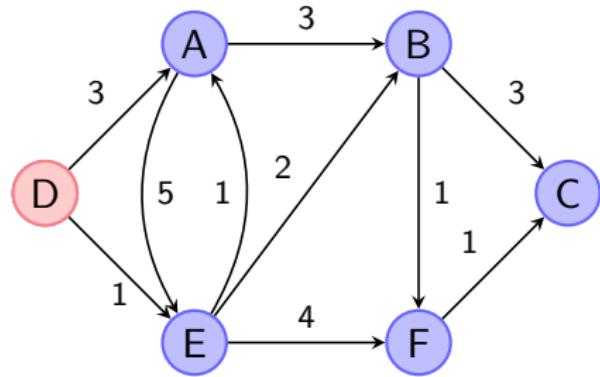
# Algorithme de Dijkstra



Nœud	Distance	Parent
A		
B		
C		
D	0	•
E		
F		

Frontière = {D}  
u =

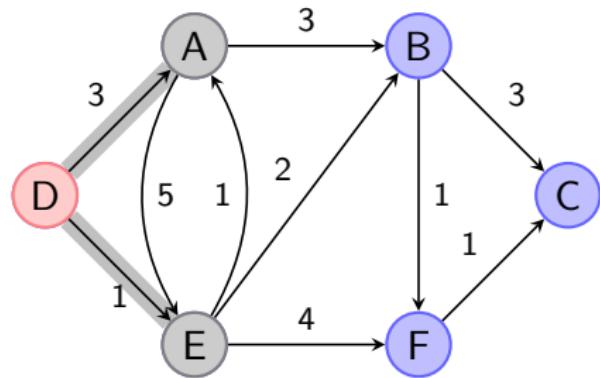
# Algorithme de Dijkstra



Nœud	Distance	Parent
A		
B		
C		
D	0	•
E		
F		

Frontière = { }  
u = D

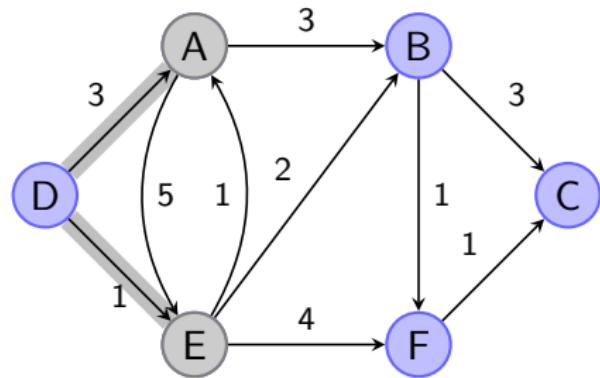
# Algorithme de Dijkstra



Nœud	Distance	Parent
A		
B		
C		
D	0	•
E		
F		

Frontière = {A, E}  
u = D

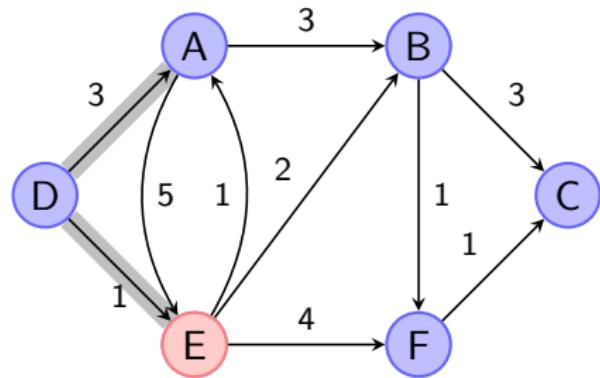
# Algorithme de Dijkstra



Nœud	Distance	Parent
A	3	D
B		
C		
D	0	•
E	1	D
F		

Frontière = {A, E}  
u = D

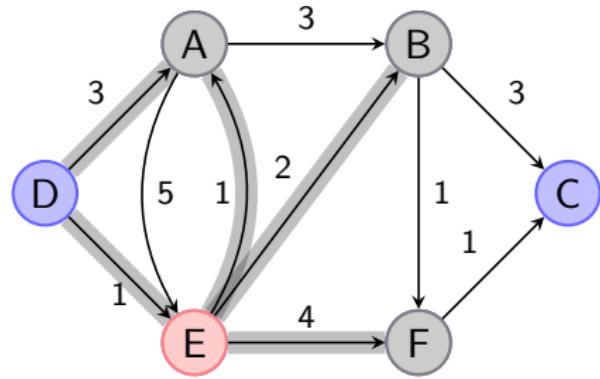
# Algorithme de Dijkstra



Nœud	Distance	Parent
A	3	D
B		
C		
D	0	•
E	1	D
F		

Frontière = {A}  
u = E

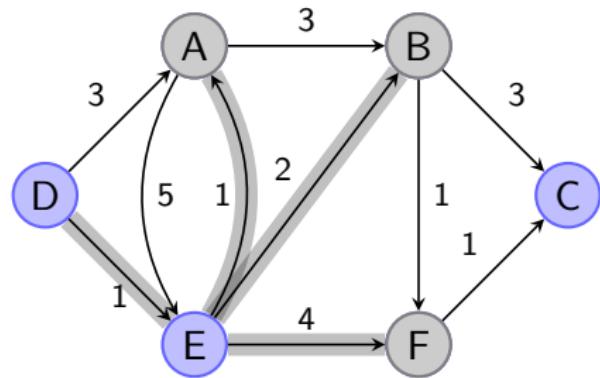
# Algorithme de Dijkstra



Nœud	Distance	Parent
A	3	D
B		
C		
D	0	•
E	1	D
F		

Frontière = {A, B, F}  
u = E

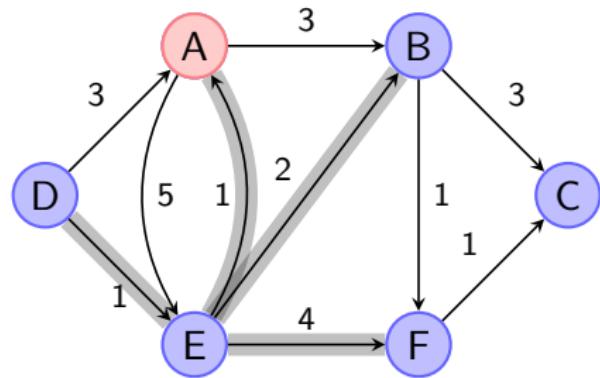
# Algorithme de Dijkstra



Nœud	Distance	Parent
A	1+1	E
B	1+2	E
C		
D	0	•
E	1	D
F	1+4	E

$$\text{Frontière} = \{A, B, F\}$$
$$u = E$$

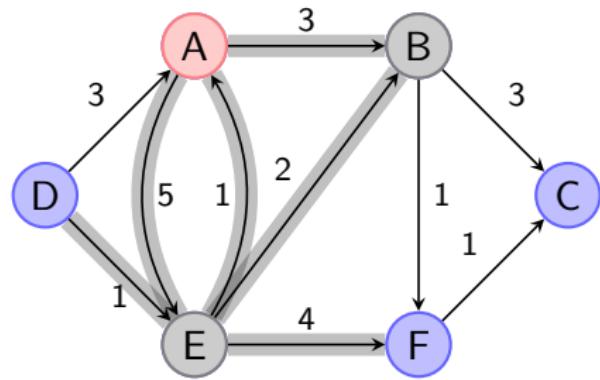
# Algorithme de Dijkstra



Nœud	Distance	Parent
A	2	E
B	3	E
C		
D	0	•
E	1	D
F	5	E

$$\text{Frontière} = \{B, F\}$$
$$u = A$$

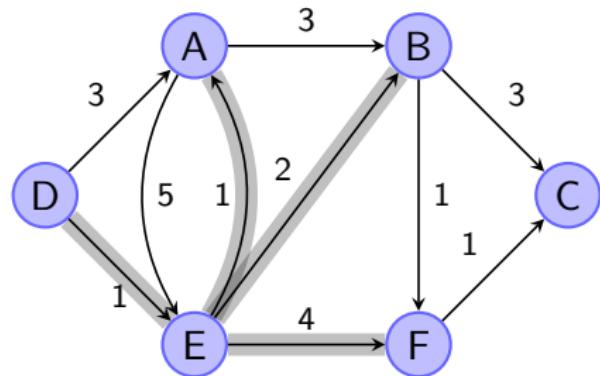
# Algorithme de Dijkstra



Nœud	Distance	Parent
A	2	E
B	3	E
C		
D	0	•
E	1	D
F	5	E

$$\begin{aligned} \text{Frontière} &= \{B, F\} \\ u &= A \end{aligned}$$

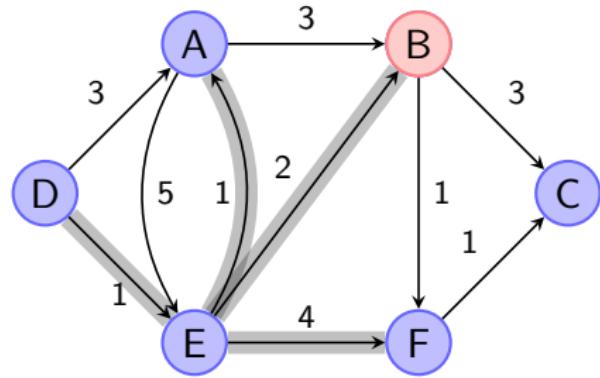
# Algorithme de Dijkstra



Nœud	Distance	Parent
A	2	E
B	3	E
C		
D	0	•
E	1	D
F	5	E

$$\text{Frontière} = \{B, F\}$$
$$u = A$$

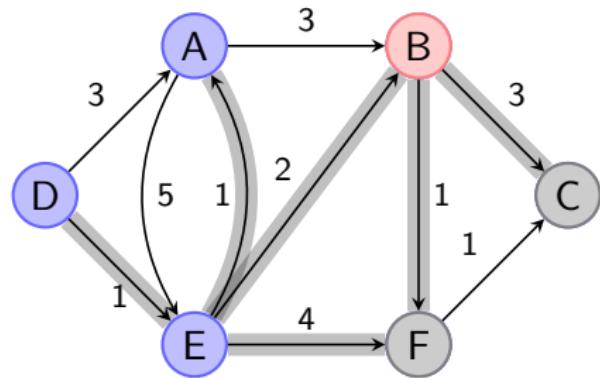
# Algorithme de Dijkstra



Nœud	Distance	Parent
A	2	E
B	3	E
C		
D	0	•
E	1	D
F	5	E

$$\text{Frontière} = \{F\}$$
$$u = B$$

# Algorithme de Dijkstra

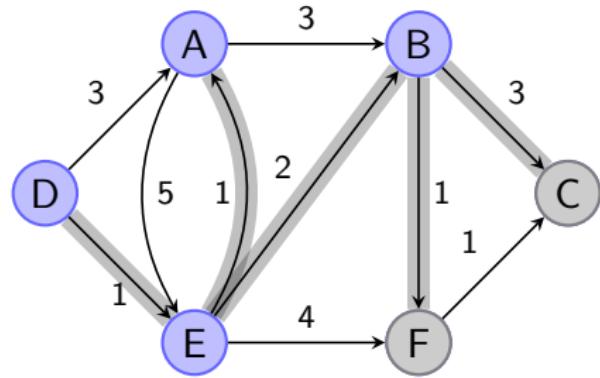


Nœud	Distance	Parent
A	2	E
B	3	E
C		
D	0	•
E	1	D
F	5	E

$$\text{Frontière} = \{C, F\}$$

$$u = B$$

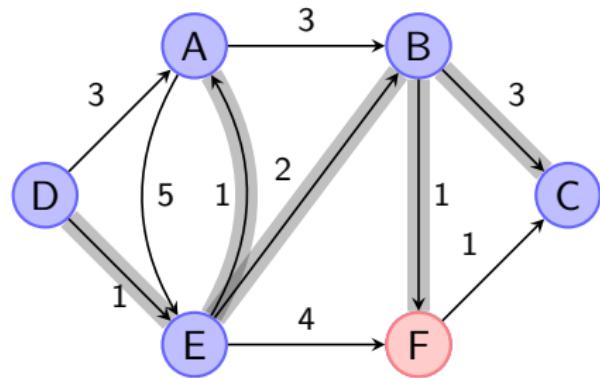
# Algorithme de Dijkstra



Nœud	Distance	Parent
A	2	E
B	3	E
C	3+3	B
D	0	•
E	1	D
F	3+1	B

$$\text{Frontière} = \{C, F\}$$
$$u = B$$

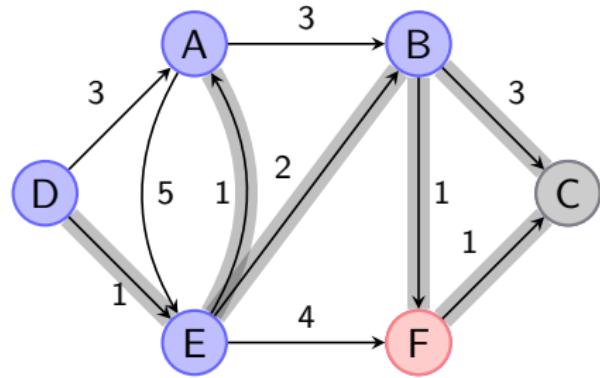
# Algorithme de Dijkstra



Nœud	Distance	Parent
A	2	E
B	3	E
C	6	B
D	0	•
E	1	D
F	4	B

$$\text{Frontière} = \{C\}$$
$$u = F$$

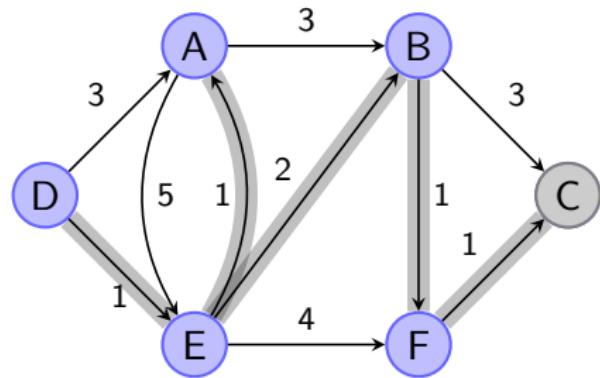
# Algorithme de Dijkstra



Nœud	Distance	Parent
A	2	E
B	3	E
C	6	B
D	0	•
E	1	D
F	4	B

$$\text{Frontière} = \{C\}$$
$$u = F$$

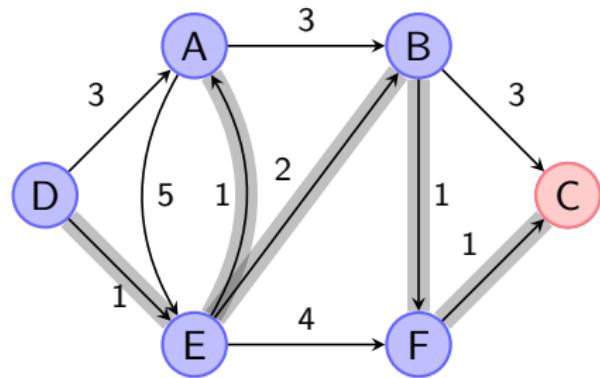
# Algorithme de Dijkstra



Nœud	Distance	Parent
A	2	E
B	3	E
C	4+1	F
D	0	•
E	1	D
F	4	B

$$\text{Frontière} = \{C\}$$
$$u = F$$

# Algorithme de Dijkstra



Nœud	Distance	Parent
A	2	E
B	3	E
C	5	F
D	0	•
E	1	D
F	4	B

Frontière = { }  
u = C

## Arbre couvrant minimal (MST)

Soit un graphe non-orienté, connexe  $G = (V, E)$ . Un arbre couvrant minimal de  $G$  (*Minimum Spanning Tree*) est un sous-graphe acyclique de  $G$  contenant tous les sommets de  $G$  et tel que la somme des poids de ses arêtes est minimal.

## Kruskal

L'algorithme de Kruskal est un algorithme glouton qui permet de trouver un arbre couvrant minimal dans un graphe connexe.

Complexité :  $O(|E|\log|V|)$  avec une structure Unir-Trouver

L'algorithme de Prim permet également de trouver un MST mais il est un peu plus complexe.

**Entrées** : Un graphe connexe pondéré  $G = (V, E, w)$

**Sortie** : Un ensemble  $T \subseteq E$  décrivant un MST

**Algorithm** :

$T \leftarrow \emptyset$

$P \leftarrow \text{Init}(|V|)$  ▷ Structure de données Unir-Trouver

Trier les arêtes de  $E$  par poids croissant

**pour**  $(u, v) \in E$  dans l'ordre **faire**

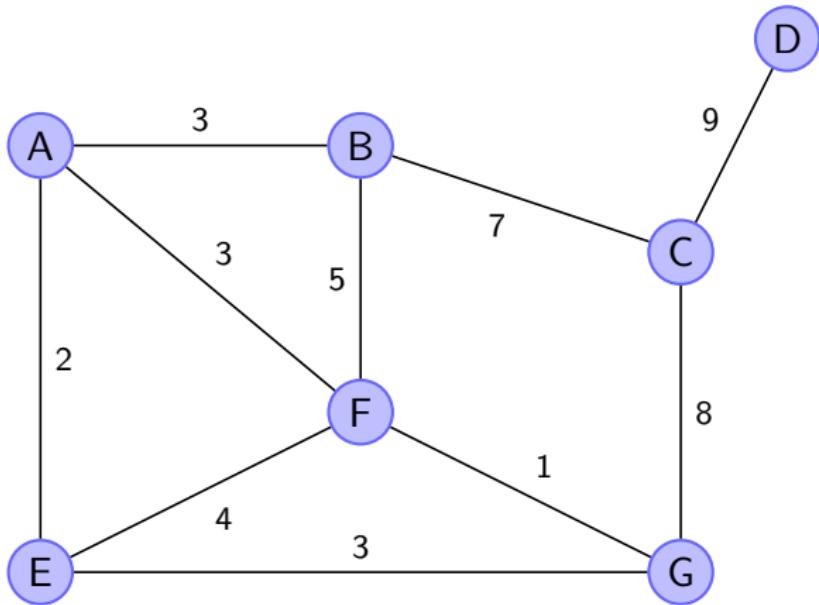
**si** Trouver( $P, u$ )  $\neq$  Trouver( $P, v$ ) **alors**

Ajouter  $(u, v)$  à  $T$

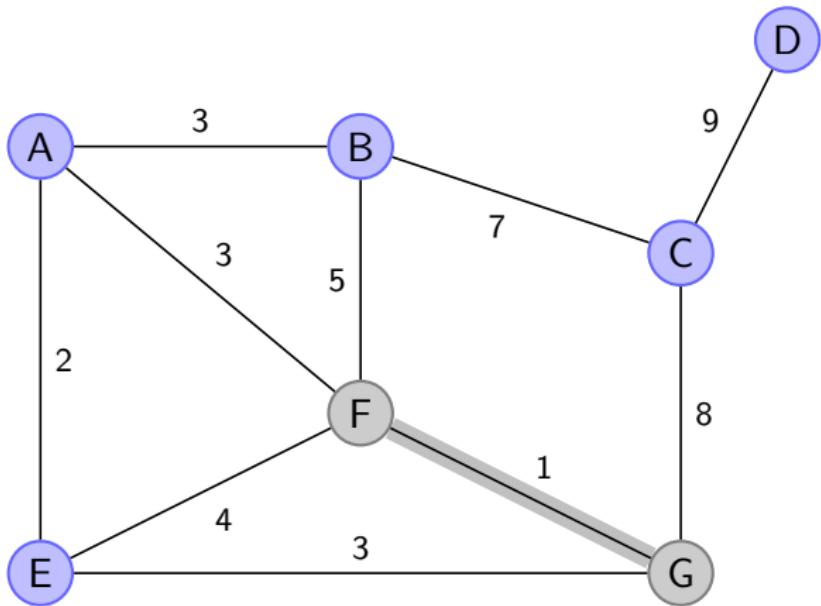
**Unir**( $P, u, v$ )

**retourner**  $T$

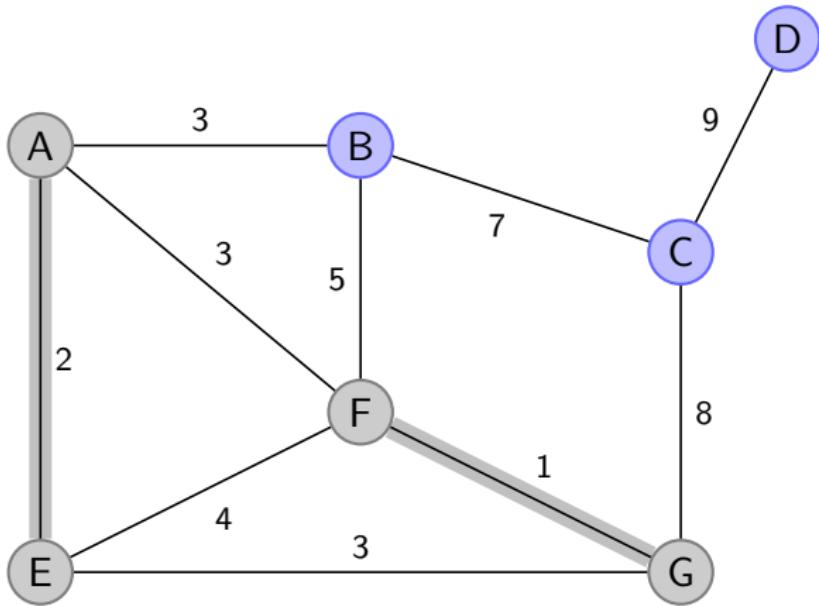
# Algorithme de Kruskal



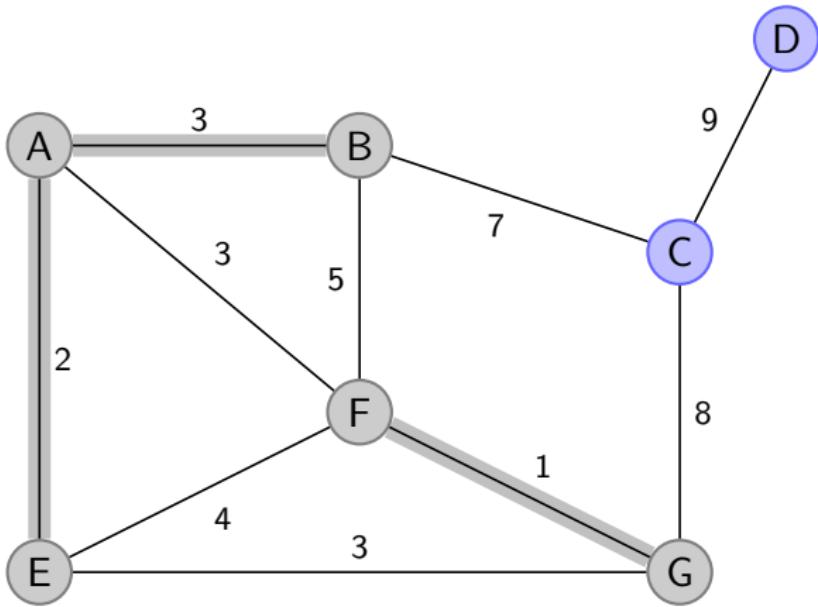
# Algorithme de Kruskal



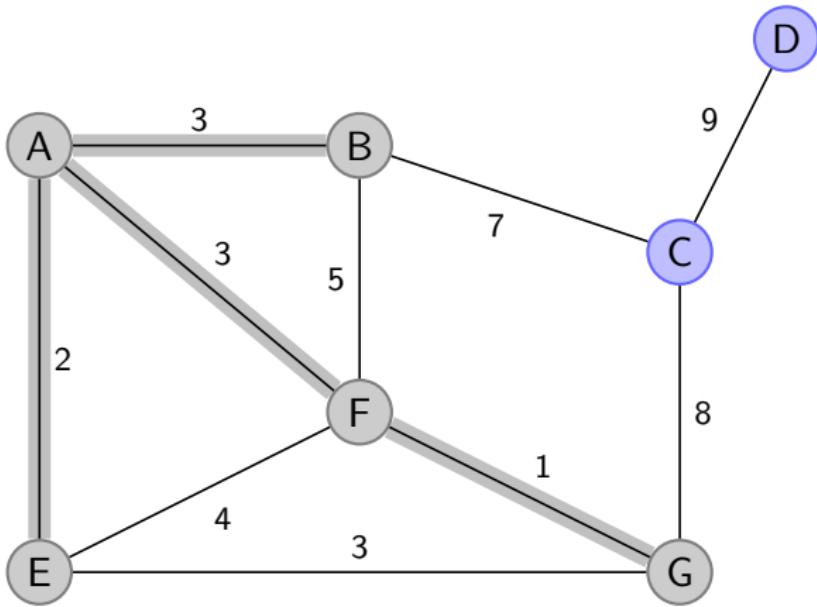
# Algorithme de Kruskal



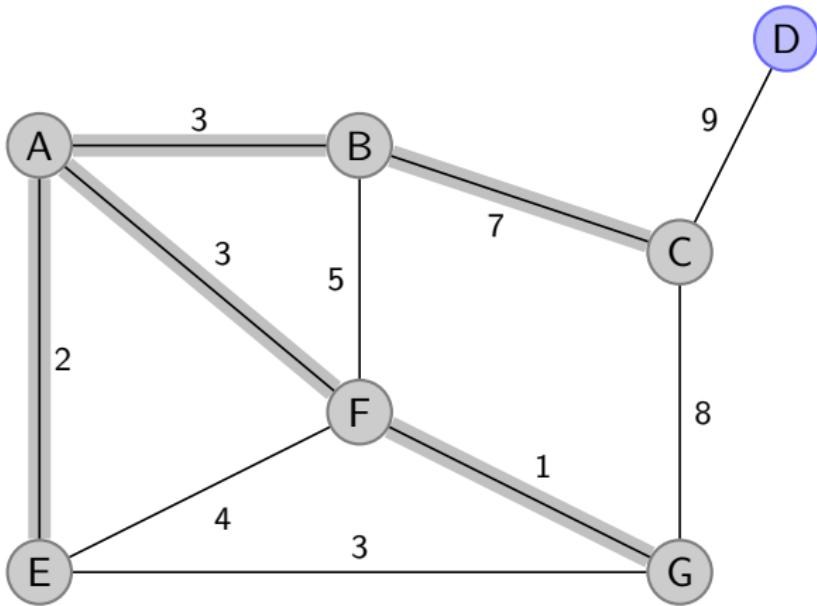
# Algorithme de Kruskal



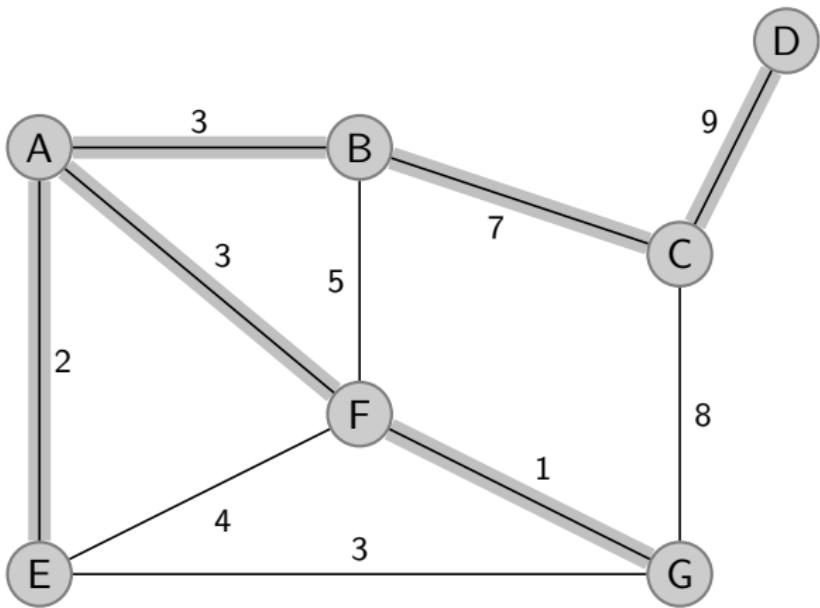
# Algorithme de Kruskal



# Algorithme de Kruskal



# Algorithme de Kruskal



# Conclusion de la section 1

Choses à savoir faire pour l'examen :

- Établir la complexité d'un algorithme
- Raisonner sur les propriétés des graphes
- Écrire des algorithmes impliquant BFS/DFS
- Faire tourner Dijkstra à la main sur un exemple
- Faire tourner Kruskal à la main sur un exemple pour trouver un MST

Comment s'entraîner :

- Refaire les TDs de pré-requis
- Faire tourner les algorithmes Dijkstra/Kruskal sur des exemples

- ① Algorithmes de graphes
- ② Complexité : problèmes P et NP
- ③ Algorithmes de résolution exacte
- ④ Algorithmes d'approximation
- ⑤ Programmation dynamique
- ⑥ Graphes de flots

## Problèmes de décision

Problèmes auxquels on peut répondre par oui ou non.

- **Problème du plus court chemin** : existe-t-il un chemin de coût  $\leq k$  entre deux nœuds  $s$  et  $t$  dans un graphe pondéré ?
- **Problème du cycle hamiltonien** : existe-t-il un cycle passant par tous les nœuds d'un graphe exactement une fois ?

## Problèmes d'optimisation

Problèmes dans lesquels on cherche la solution de coût minimal (ou maximal).

- **Problème du plus court chemin** : quel est le chemin le plus court entre les nœuds  $s$  et  $t$  dans un graphe pondéré ?
- **Problème du voyageur de commerce** : trouver un cycle hamiltonien de poids minimum.

# Formaliser un problème

Pour formaliser un problème, on donne ses entrées (instances), et la question à laquelle on veut répondre.

## Exemple

Formaliser le problème du plus court chemin entre deux nœuds  $s$  et  $t$  dans un graphe pondéré sous forme de problème de décision.

**Entrées :**

- Un graphe  $G = (V, E, w)$  pondéré
- Des nœuds  $s, t \in V^2$
- Un nombre  $k \in \mathbb{N}$

**Question :** existe-t-il un chemin  $C \subseteq E$  de  $s$  à  $t$  tel que :

$$\sum_{c \in C} w(c) \leq k$$

## Attention !

Dans tout ce qui suit, on s'intéresse uniquement à des **problèmes de décision**.

Dans le cas des **problèmes de décision** uniquement, on peut définir les classes de complexité **P** et **NP**.

## Classe P

Un problème est dans la classe P s'il peut être résolu par un algorithme en complexité polynomiale.

## Classe NP

Un problème est dans la classe NP si ses solutions peuvent être vérifiées par un algorithme en temps polynomial.

Pour montrer qu'un problème est dans NP, il suffit de donner un algorithme de vérification et de montrer qu'il est polynomial.

On a naturellement  $P \subseteq NP$ .

## Instance et instance positive

Soit un problème  $\mathcal{P}$ . On note  $\mathcal{D}$  les instances (ou entrées) possibles pour  $\mathcal{P}$  (e.g l'ensemble des graphes).

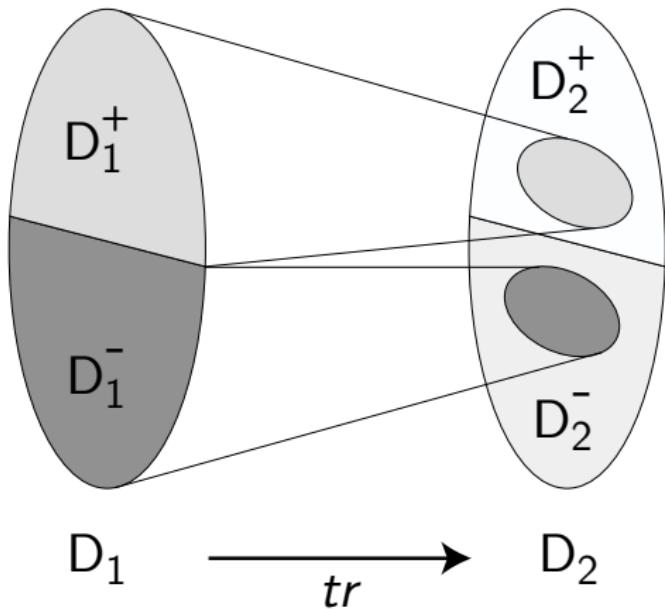
On a  $\mathcal{D} = \mathcal{D}^+ \sqcup \mathcal{D}^-$  (union disjointe) où :

- $\mathcal{D}^+$  est l'ensemble des entrées pour lesquelles la réponse au problème est oui (instances positives) ;
- $\mathcal{D}^-$  est l'ensemble des entrées pour lesquelles la réponse au problème est non (instances négatives).

## Réduction

On dit qu'un problème  $\mathcal{P}_1$  se réduit à un autre problème  $\mathcal{P}_2$  s'il existe une fonction  $tr$  qui transforme une entrée de  $\mathcal{P}_1$  en entrée de  $\mathcal{P}_2$  en temps polynomial, telle que  $e \in \mathcal{D}_1^+$  ssi  $tr(e) \in \mathcal{D}_2^+$ .

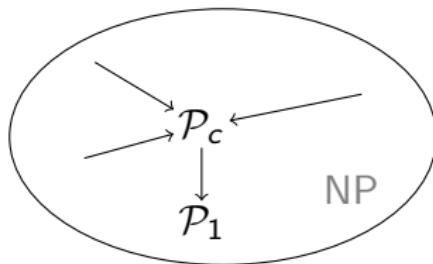
# Réduction de problèmes



## Problème NP-difficile

Un problème  $\mathcal{P}_1$  est dit NP-difficile si tout problème de la classe NP peut s'y réduire.

En pratique pour montrer que  $\mathcal{P}_1$  est NP-complet, on trouve une réduction d'un problème NP-complet  $\mathcal{P}_c$  à  $\mathcal{P}_1$ .



## Problème NP-complet

Un problème est dit NP-complet s'il est **dans la classe NP** et qu'il est **NP-difficile**.

## Exemple de réduction

On se propose de réduire le problème CHEMIN HAMILTONIEN (NP-difficile) vers PLUS LONG CHEMIN pour montrer que PLUS LONG CHEMIN est NP-difficile.

### Chemin Hamiltonien

**Entrées** : un graphe non orienté connexe  $G = (V, E)$

**Question** : existe-t-il un chemin simple (sans cycle) qui visite tous les sommets de  $G$  ?

### Plus long chemin

**Entrées** : un graphe non orienté pondéré connexe  $G = (V, E, w)$  et un entier  $k \in \mathbb{N}$

**Question** : existe-t-il un chemin simple  $C$  dans  $G$  tel que la somme des poids des arêtes de  $C$  soit au moins  $k$  ?

## Exemple de réduction

On propose  $tr(\langle G = (V, E) \rangle) = \langle G' = (V, E, w), k \rangle$  où  $w(e) = 1$   
 $\forall e \in E$  et  $k = |V| - 1$ .

Il faut montrer que  $\mathcal{I}_{Ham} \in \mathcal{D}_{Ham}^+ \iff tr(\mathcal{I}_{Ham}) \in \mathcal{D}_{PLC}^+$

⇒ Soit  $\mathcal{I}_{Ham} = \langle G = (V, E) \rangle$  une instance positive du problème du chemin hamiltonien. Vu  $\mathcal{I}_{Ham} \in \mathcal{D}_{Ham}^+$ , il existe un chemin hamiltonien dans  $G$ , qui par définition contient  $|V| - 1$  arêtes.

Dans  $\mathcal{I}_{PLC} = tr(\mathcal{I}_{Ham})$ , le chemin est de poids  $|V| - 1 = k$ .

Donc  $\mathcal{I}_{PLC} \in \mathcal{D}_{PLC}^+$ .

⇐ Réciproquement, si  $\mathcal{I}_{PLC}$  est une instance positive du problème plus long chemin, il existe un chemin simple de poids au moins  $k = |V| - 1$ . Comme chaque arête est de poids 1, il doit visiter au moins  $k + 1 = |V|$  sommets. Le chemin étant simple (pas de répétition de sommets), on a un chemin hamiltonien.

Donc  $\mathcal{I}_{Ham} \in \mathcal{D}_{Ham}^+$ .

On a réduit Ham (NP-difficile) à PLC donc PLC est NP-difficile.

Pour montrer qu'un problème est **NP-complet** :

- ① On montre que le problème est **dans NP** en exhibant un algorithme de vérification de complexité polynomiale ;
- ② On montre que le problème est **NP-difficile** en réduisant un autre problème NP-difficile à lui ;
- ③ On conclut en disant que  $\text{NP} \ \& \ \text{NP-difficile} \iff \text{NP-complet}$

## SAT

**Entrée** : une formule logique sous FNC e.g  $(x_1 \vee x_2) \wedge (\neg x_1)$

**Question** : la formule est-elle satisfiable ?

## Stable

**Entrées** : un graphe non-orienté connexe  $G = (V, E)$ ;  $k \in \mathbb{N}$

**Question** : existe-t-il un stable  $S$  de  $G$ , càd un ensemble de sommets qui ne sont pas reliés entre eux par une arête, tel que  $|S| \geq k$  ?

## Vertex-Cover

**Entrées** : un graphe non-orienté connexe  $G = (V, E)$ ;  $k \in \mathbb{N}$

**Question** : existe-t-il un ensemble  $V' \subseteq V$  de taille  $|V'| \leq k$  tel que toute arête  $(u, v) \in E$  a au moins une de ses extrémités dans  $V'$  ( $u \in V'$  ou  $v \in V'$ ) ?

## Set-Cover

**Entrées** : un ensemble d'éléments  $U$ ; une famille  $S \subset \mathcal{P}(U)$  de sous ensembles de  $U$ ; un nombre  $k \in \mathbb{N}$

**Question** : existe-t-il une sous-famille  $S' \subseteq S$  telle que :

- $S'$  est une couverture de  $U$ , càd  $U = \cup_{S_i \in S'} S_i$
- $\text{card}(S') \leq k$

## Clique

**Entrées** : un graphe  $G = (V, E)$ ;  $k \in \mathbb{N}$

**Question** : existe-t-il un ensemble  $S \subseteq V$  tel que :

- $\forall u, v \in S^2, (u, v) \in E$  (le sous graphe induit est complet)
- $|S| \geq k$

Choses à savoir faire pour l'examen :

- Formaliser/modéliser un problème (donner entrées et question)
- Donner la nature d'un problème (décision ou optimisation)
- Connaître les problèmes classiques et leur classe
- Montrer qu'un problème est NP-complet (dans NP + NP-difficile)

Comment s'entraîner :

- Refaire le TD 1 (tous les exercices), le TD 2 (toutes les questions sauf la 1.3 et la 2.2), et le TD 3 (exercice 1, questions 1 à 4).

- ① Algorithmes de graphes
- ② Complexité : problèmes P et NP
- ③ Algorithmes de résolution exacte
- ④ Algorithmes d'approximation
- ⑤ Programmation dynamique
- ⑥ Graphes de flots

# Backtracking

## ★ La programmation linéaire en nombres entiers ★

Optimisation (maximisation/minimisation) d'une grandeur à coefficients entiers.

### Exemple de problème

Maximiser  $Z = 100x_1 + 150x_2$  sous les contraintes :

- $8000x_1 + 4000x_2 \leq 40000$
- $15x_1 + 30x_2 \leq 200$
- $x_1, x_2 \in \mathbb{N}$

**Ce qu'il faut retenir** : on peut utiliser le branch and bound pour trouver la solution optimale dans ce genre de problèmes.

La dernière question de l'exercice 2 du TD 3 traite de ce sujet.

## Conclusion de la section 3

Choses à savoir faire pour l'examen :

- Expliquer dans quels cas de figure on utilise le backtracking/branch and bound
- Écrire un algorithme de backtracking
- Donner la complexité des algorithmes

Comment s'entraîner :

- Refaire le TD 3 (exercice 2, en entier)

- ① Algorithmes de graphes
- ② Complexité : problèmes P et NP
- ③ Algorithmes de résolution exacte
- ④ Algorithmes d'approximation
- ⑤ Programmation dynamique
- ⑥ Graphes de flots

① Algorithmes de graphes

② Complexité : problèmes P et NP

③ Algorithmes de résolution exacte

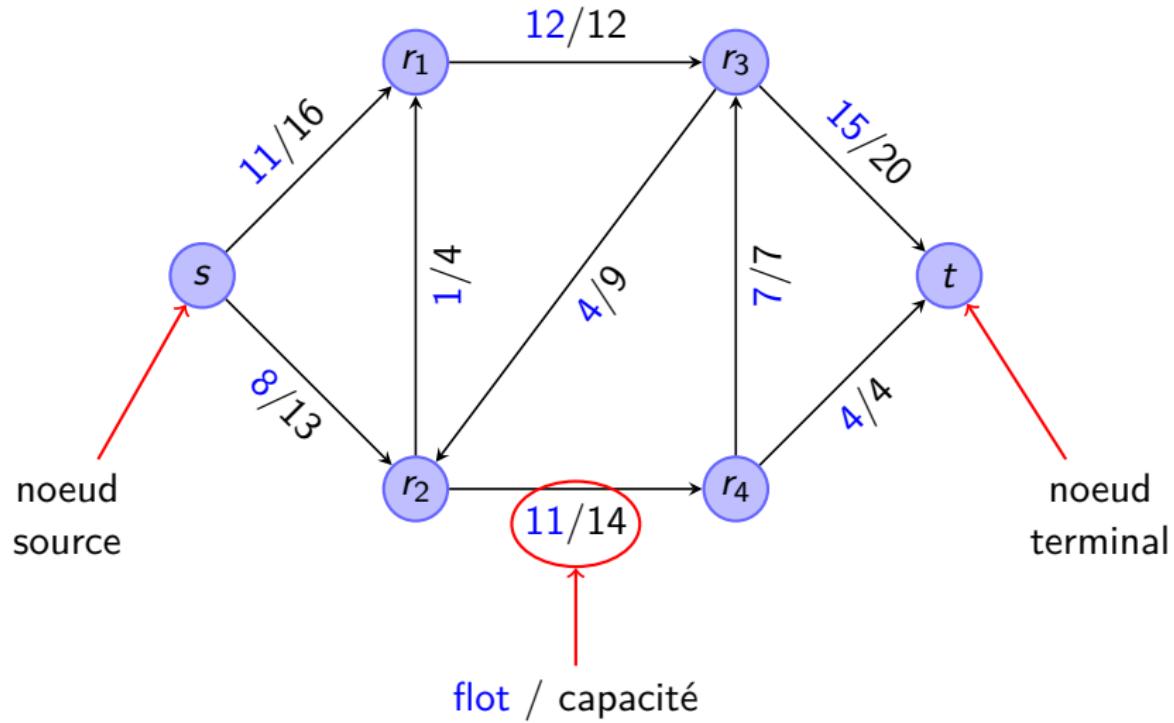
④ Algorithmes d'approximation

⑤ Programmation dynamique

⑥ Graphes de flots

- ① Algorithmes de graphes
- ② Complexité : problèmes P et NP
- ③ Algorithmes de résolution exacte
- ④ Algorithmes d'approximation
- ⑤ Programmation dynamique
- ⑥ Graphes de flots

## Exemple de graphe de flot



Un flot  $f$  réalisable doit vérifier les propriétés suivantes :

## Règle flot-capacité

Le flot d'une arête ne peut pas dépasser sa capacité.

$$\forall u, v \in V^2 \quad 0 \leq f(u, v) \leq c(u, v)$$

## Règle de conservation du flot

À l'exception de  $s$  et  $t$ , le flot entrant dans un nœud est égal au flot en sortant.

$$\forall u \in V \setminus \{s, t\} \quad \sum_{v \in V} f(u, v) = \sum_{v \in V} f(v, u)$$

## Flot total

Le flot sortant de  $s$  est égal à celui entrant dans  $t$ .

$$\sum_{u \in V} f(s, u) = \sum_{u \in V} f(u, t)$$

## Valeur du flot

La valeur du flot  $f$ , notée  $\varphi$  est donnée par :

$$\varphi = \sum_{u \in V} f(s, u) = \sum_{u \in V} f(u, t)$$

Le problème du flot maximal consiste à trouver un flot  $f$  ayant la valeur du flot maximale  $\varphi_{max}$

## Ford-Fulkerson

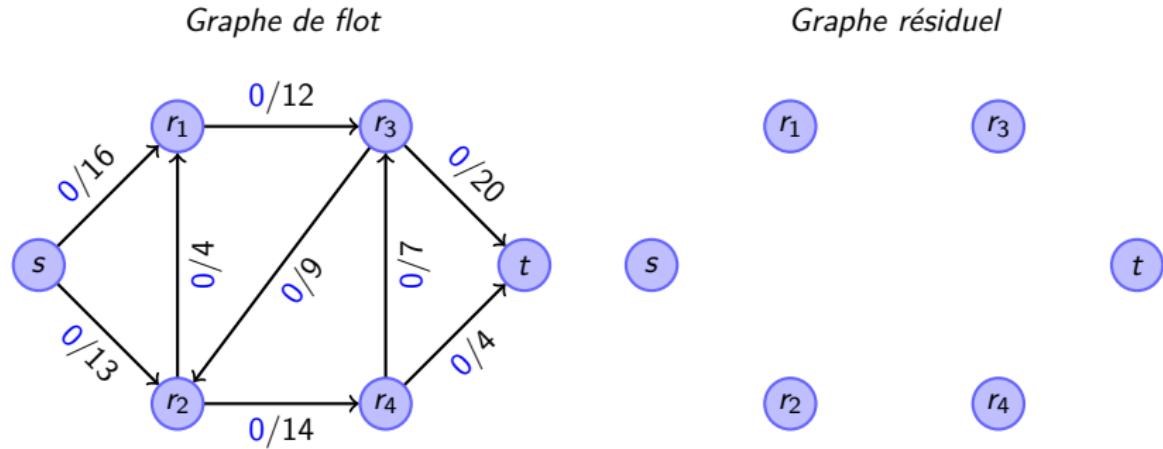
L'algorithme de Ford-Fulkerson est un algorithme glouton qui permet de calculer le flot maximal dans un graphe de flot.

Complexité :  $O((|V| + |E|) \times \varphi_{max})$

**Remarque 1** : l'algorithme de Ford-Fulkerson n'impose aucune contrainte sur le type de parcours à effectuer. En pratique, on fait un DFS.

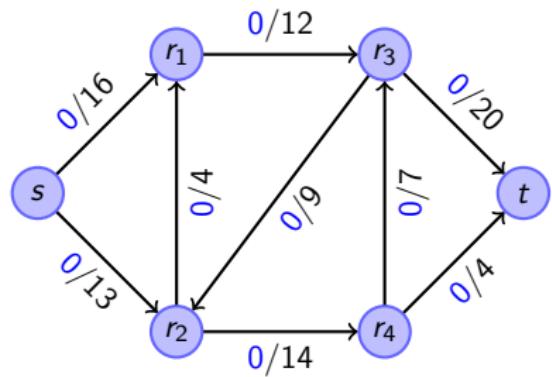
**Remarque 2** : une variante de l'algorithme qui s'appuie sur le BFS (l'algorithme d'Edmonds-Karp) permet d'obtenir une complexité en  $O(|V| \times |E|^2)$ , indépendante de  $\varphi_{max}$ .

# Algorithme de Ford-Fulkerson

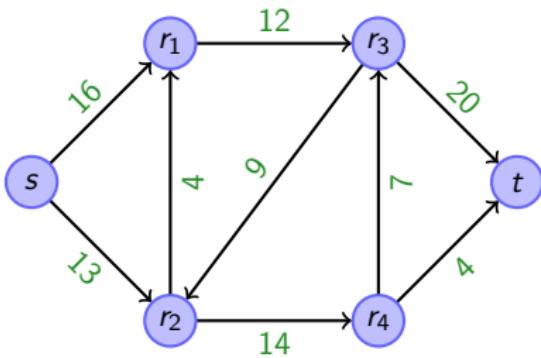


# Algorithme de Ford-Fulkerson

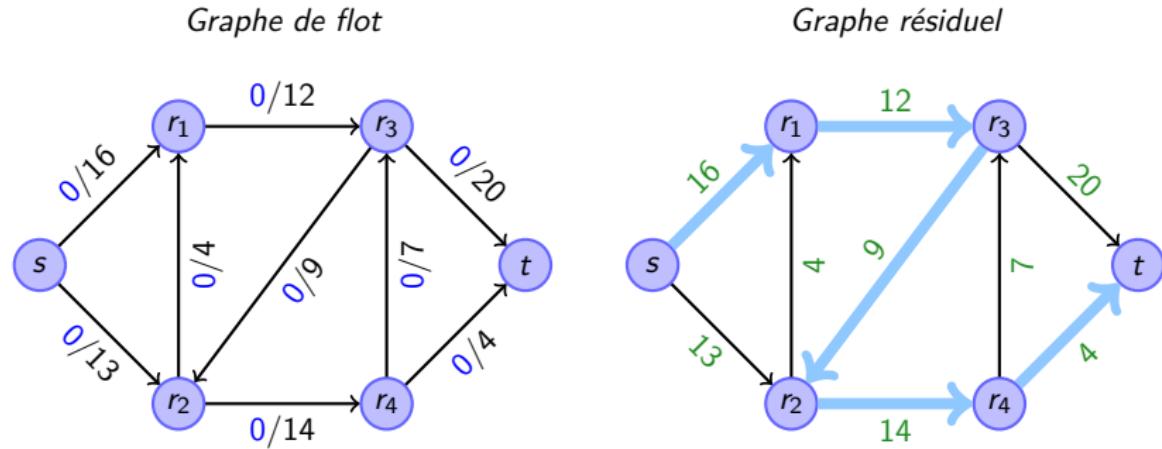
Graphe de flot



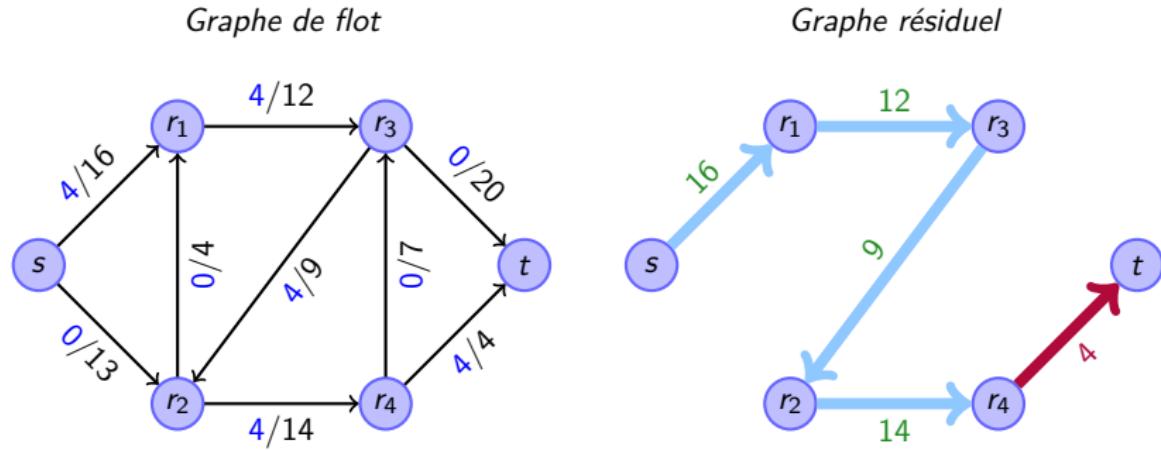
Graphe résiduel



# Algorithme de Ford-Fulkerson

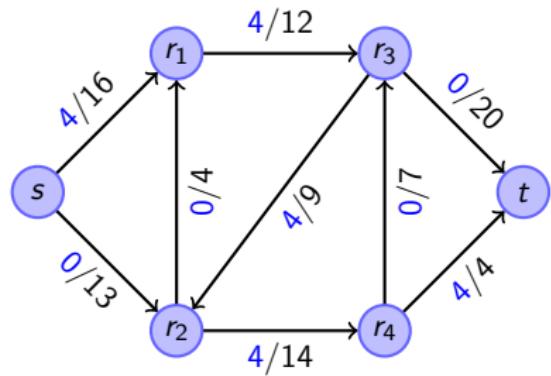


# Algorithme de Ford-Fulkerson

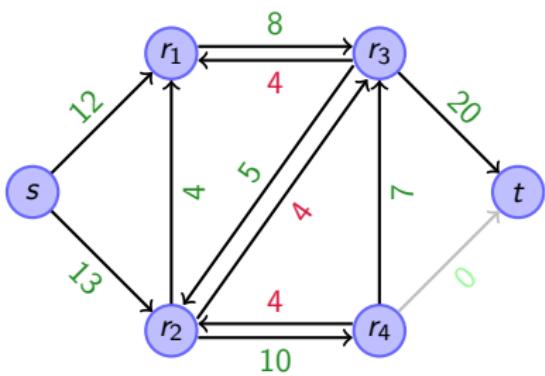


# Algorithme de Ford-Fulkerson

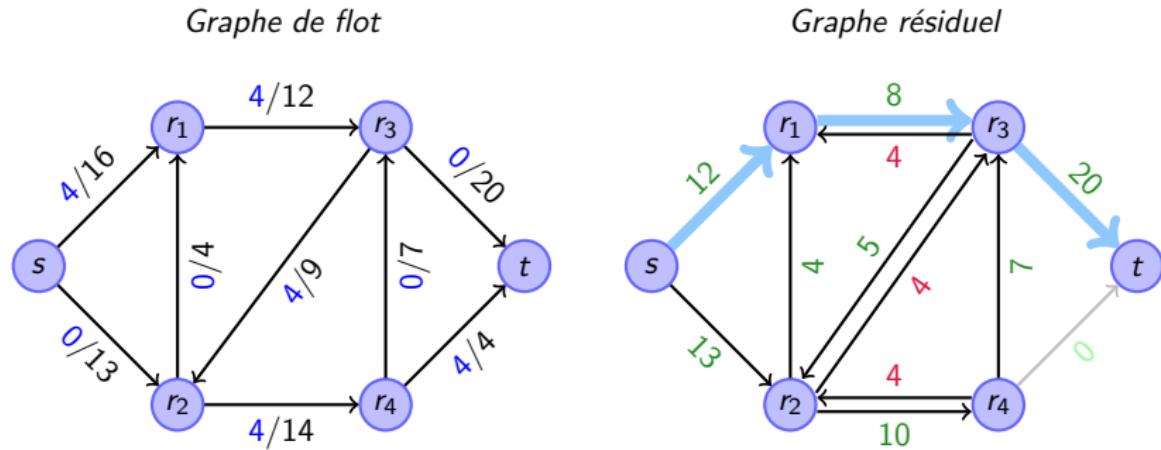
Graphe de flot



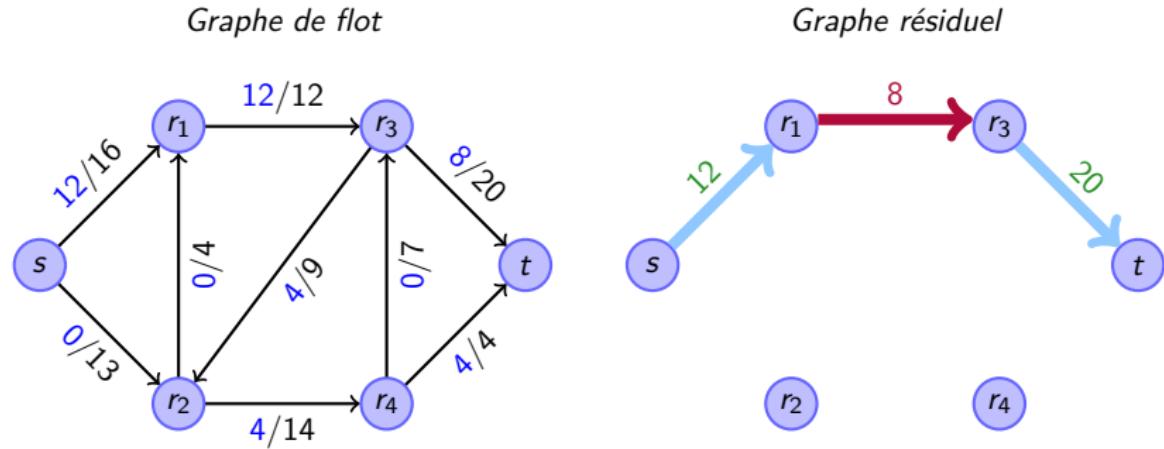
Graphe résiduel



# Algorithme de Ford-Fulkerson

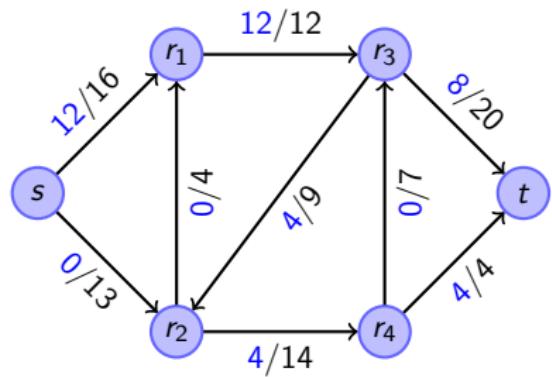


# Algorithme de Ford-Fulkerson

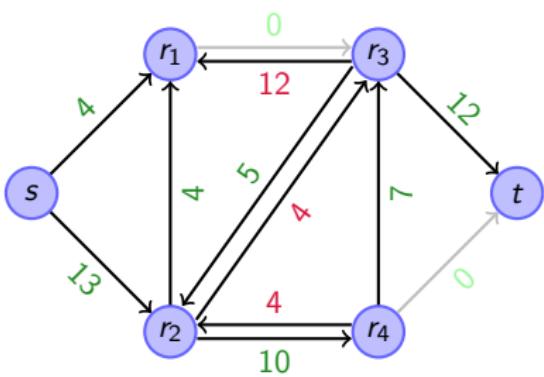


# Algorithme de Ford-Fulkerson

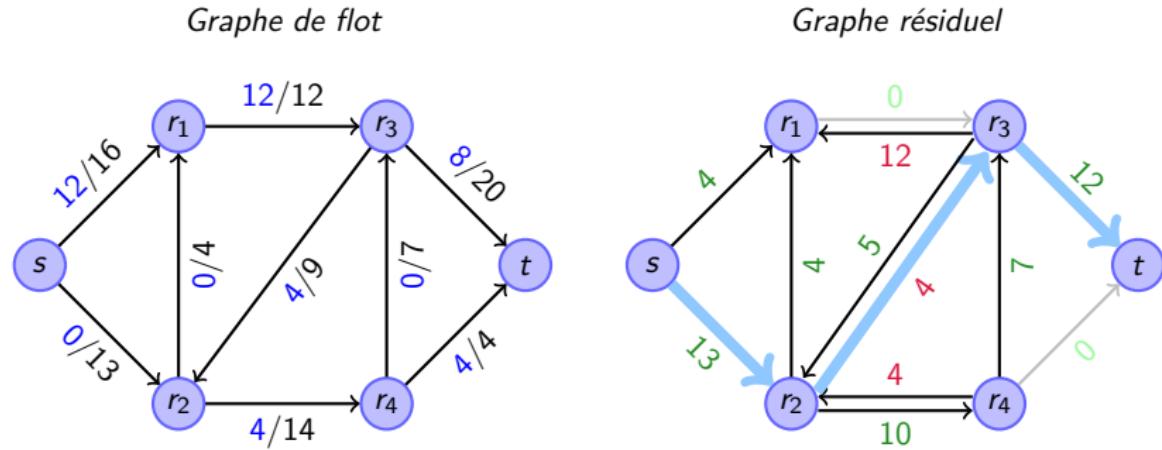
Graphe de flot



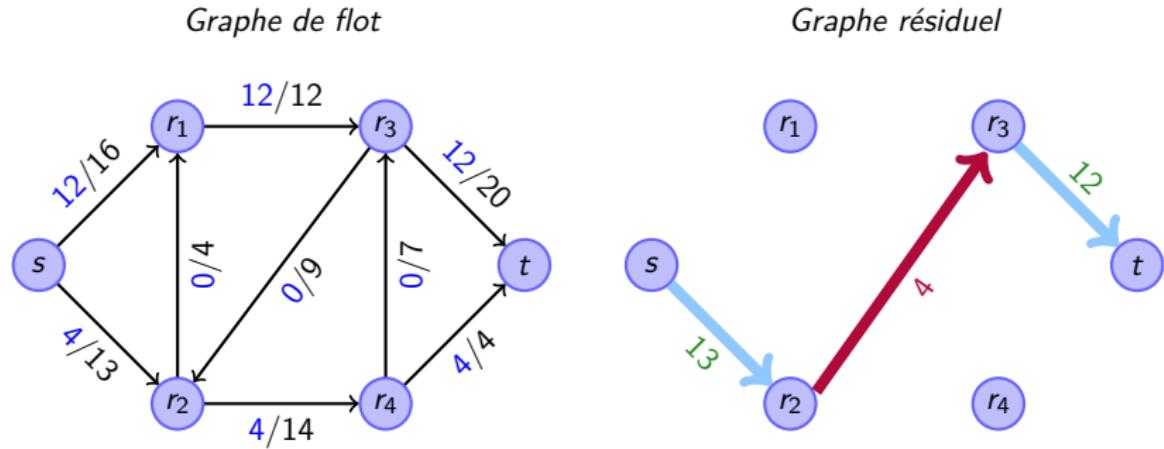
Graphe résiduel



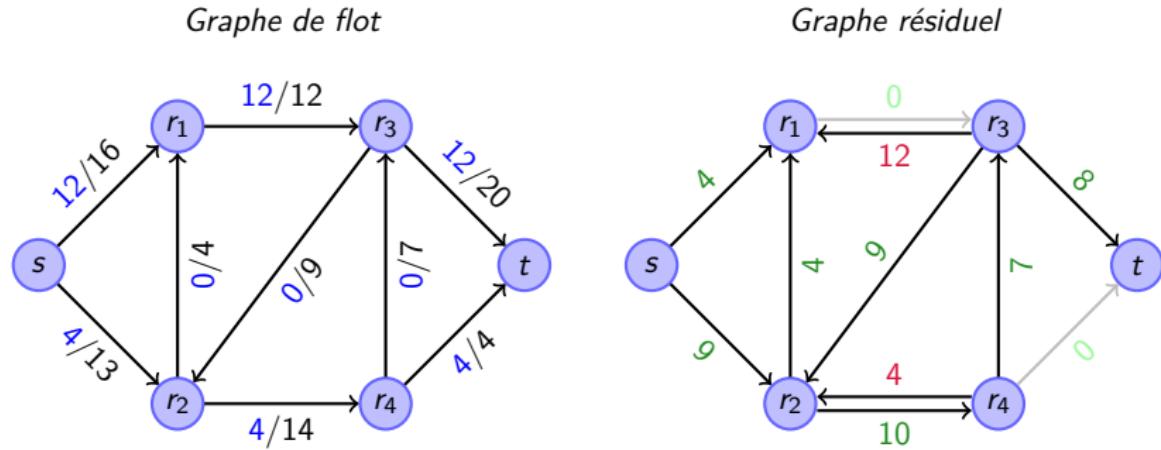
# Algorithme de Ford-Fulkerson



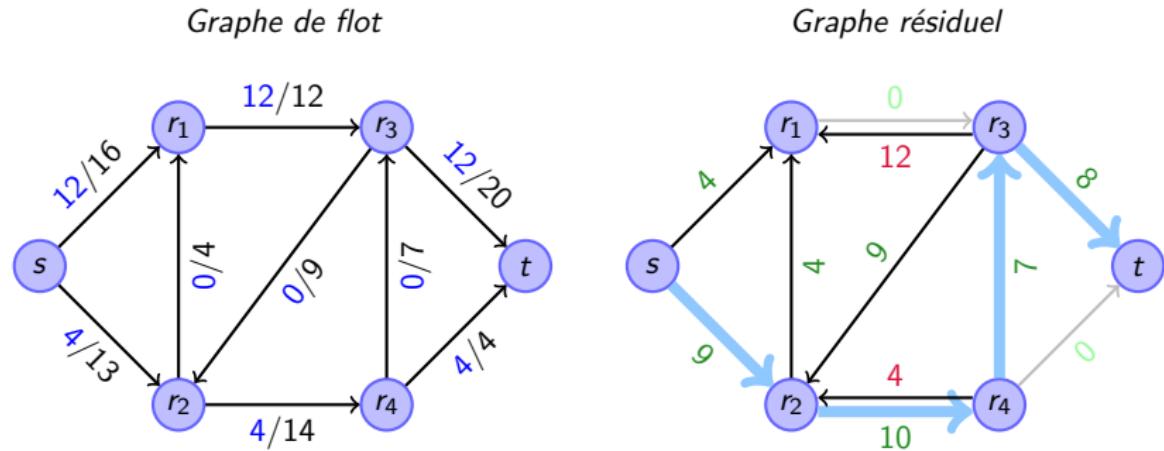
# Algorithme de Ford-Fulkerson



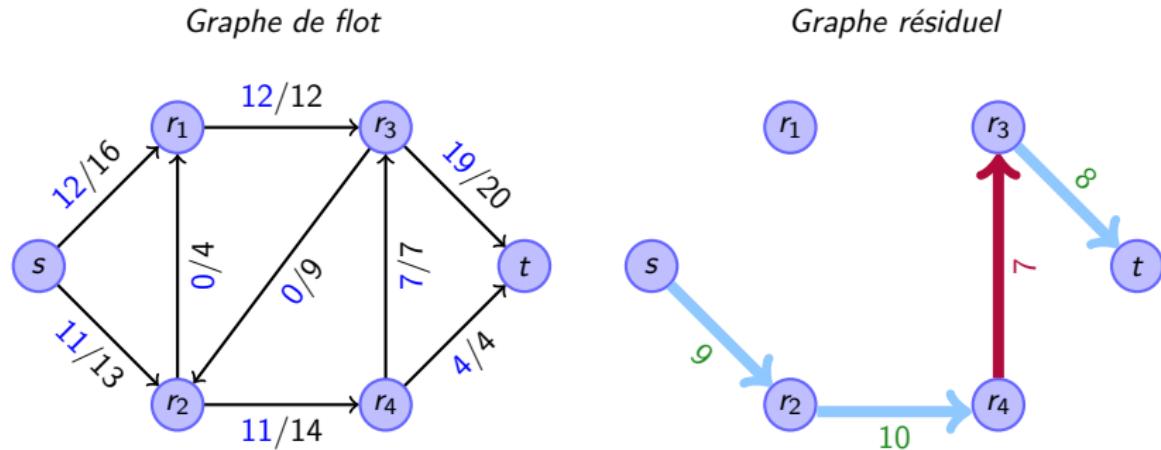
# Algorithme de Ford-Fulkerson



# Algorithme de Ford-Fulkerson

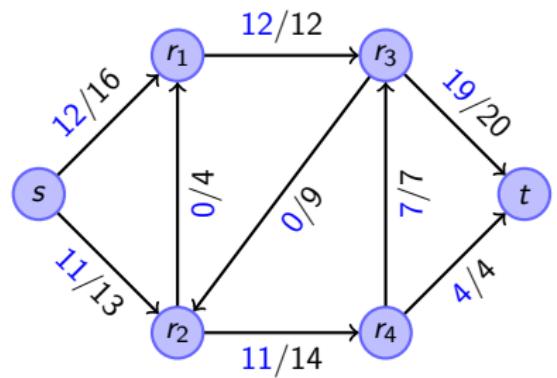


# Algorithme de Ford-Fulkerson

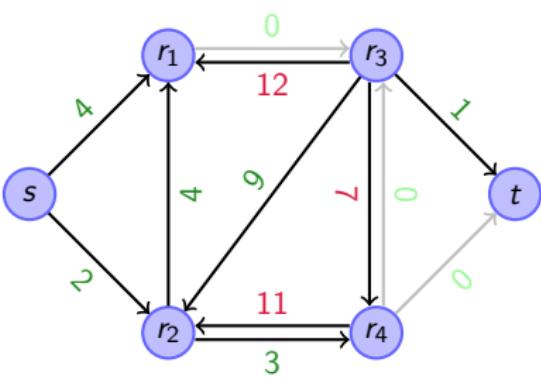


# Algorithme de Ford-Fulkerson

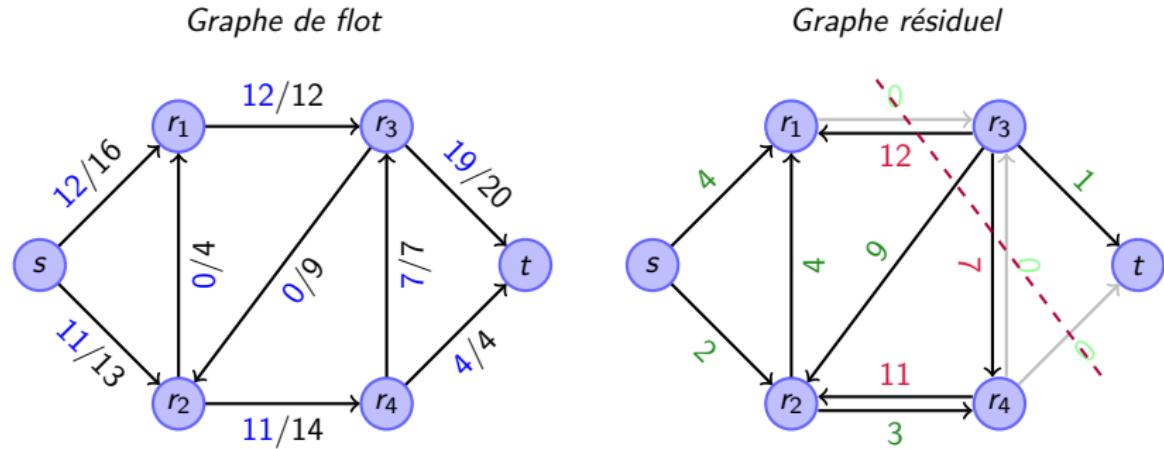
Graphe de flot



Graphe résiduel



# Algorithme de Ford-Fulkerson

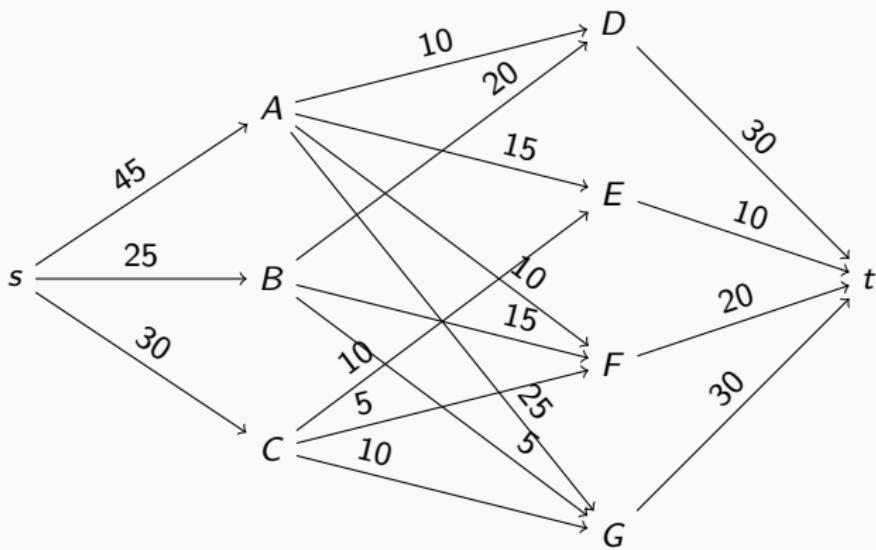


## Terminaison

L'algorithme s'arrête lorsqu'il n'y a plus de chemin entre  $s$  et  $t$  dans le graphe résiduel

Les problèmes d'affectation ou de répartition de ressources peuvent très souvent être modélisés par des graphes de flots avec une composante bipartie.

## Répartition de l'eau de puits entre des villes



## Répartition de ressources

Pour les problèmes de répartition de ressources, on peut dégager une structure générale :

- Une composante bipartie au centre dont les arêtes modélisent les contraintes de répartition (e.g le débit max d'un tuyau entre un puits et une ville)
- Des arêtes entre  $s$  et les sources, modélisant les quantités de ressources allouables
- Des arêtes entre les destinations et  $t$ , modélisant les quantités cibles

Pour résoudre un problème se modélisant par un graphe de flot (souvent de répartition/affectation de ressources), on suit les étapes suivantes :

- Modéliser le problème par un graphe de flot
- Faire tourner l'algorithme de Ford-Fulkerson pour trouver le flot maximal
- Extraire la solution du problème du graphe de flots rempli

Choses à savoir faire pour l'examen :

- Modéliser un problème par un graphe de flot
- Faire tourner Ford-Fulkerson à la main sur un exemple pour trouver la solution d'un problème
- Connaître et pouvoir raisonner sur les propriétés du flot

Comment s'entraîner :

- Refaire le TD 6 (exercices 1 et 2)