

Base de Données & Optimisation : Plans d'exécution

Thomas Gerald

October 13, 2025

Laboratoire Interdisciplinaire des Sciences du Numérique – LISN, CNRS
thomas.gerald@lisn.upsaclay.fr

Récapitulatif :

- Comment sont stockées les données sur le disque

Récapitulatif :

- Comment sont stockées les données sur le disque
- Le fonctionnement du buffer

Récapitulatif :

- Comment sont stockées les données sur le disque
- Le fonctionnement du buffer
- L'utilisation d'index et leurs performances respectives

Récapitulatif :

- Comment sont stockées les données sur le disque
- Le fonctionnement du buffer
- L'utilisation d'index et leurs performances respectives
- Fonctionnement des index B-Tree/Hachés

Récapitulatif :

- Comment sont stockées les données sur le disque
- Le fonctionnement du buffer
- L'utilisation d'index et leurs performances respectives
- Fonctionnement des index B-Tree/Hachés
- Comment les opérateurs sont-ils exécutés (sélection, jointure)

Récapitulatif :

- Comment sont stockées les données sur le disque
- Le fonctionnement du buffer
- L'utilisation d'index et leurs performances respectives
- Fonctionnement des index B-Tree/Hachés
- Comment les opérateurs sont-ils exécutés (sélection, jointure)
- Créer/optimiser un plan d'exécution pour traiter une requête ?

Objectifs

Étant donnée une requête (SQL)

- Être en mesure de supprimer les sous-requêtes non-utiles
- Traduire une requête sous forme d'arbre algébrique
- Construire un plan d'exécution à partir d'une requête
- Estimer le coût d'un plan d'exécution
- Trouver le(s) meilleur(s) plan(s) d'exécution

Requete
SELECT user FROM vendor WHERE ...



Optimisation de la requête
Plan d'execution



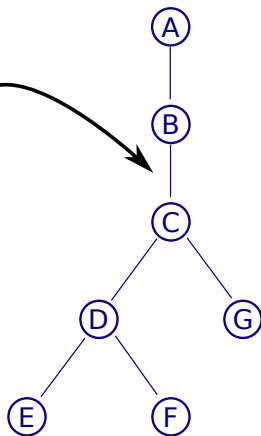
Execution des opérateurs

Accès aux données/Index

Gestion du cache

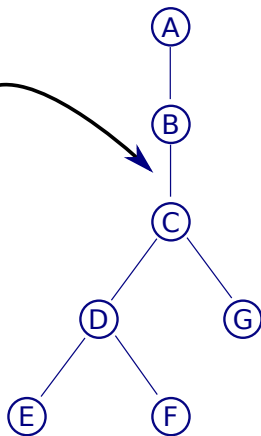
Gestionnaire de disque

SELECT * FROM voiture
NATURAL JOIN prix
WHERE ...



Du SQL vers l'exécution d'une requête

SELECT * FROM voiture
NATURAL JOIN prix
WHERE ...



Du SQL au plan d'exécution ?

```
SELECT T2.rating FROM T1  
  INNER JOIN T2 ON T1.MID=T2.MID  
 WHERE T1.year > 1980
```

Du SQL au plan d'exécution ?

```
SELECT T2.rating FROM T1  
  INNER JOIN T2 ON T1.MID=T2.MID  
 WHERE T1.year > 1980
```

- Faire la jointure

$$X = T1 \bowtie_{T1.MID=T2.MID} T2$$

Du SQL au plan d'exécution ?

```
SELECT T2.rating FROM T1  
  INNER JOIN T2 ON T1.MID=T2.MID  
 WHERE T1.year > 1980
```

- Faire la jointure

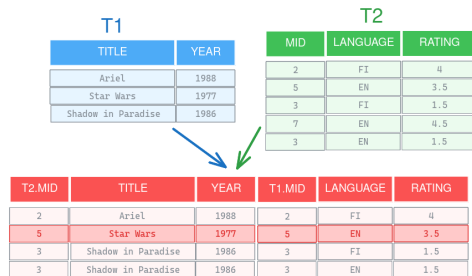
$$X = T1 \bowtie_{T1.MID=T2.MID} T2$$

- Faire la sélection $\sigma_{T1.year > 1980}(Y)$

Du SQL au plan d'exécution ?

```
SELECT T2.rating FROM T1
  INNER JOIN T2 ON T1.MID=T2.MID
 WHERE T1.year > 1980
```

- Faire la jointure
 $X = T1 \bowtie_{T1.MID=T2.MID} T2$
- Faire la sélection $\sigma_{T1.year > 1980}(Y)$
- Faire la projection $\pi_{T2.rating}(Z)$



Du SQL au plan d'exécution ?

```
SELECT T2.rating FROM T1  
  INNER JOIN T2 ON T1.MID=T2.MID  
 WHERE T1.year > 1980
```

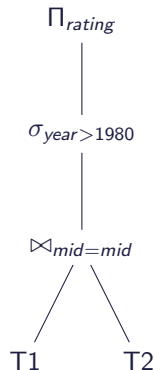
Du SQL au plan d'exécution ?

```
SELECT T2.rating FROM T1
  INNER JOIN T2 ON T1.MID=T2.MID
 WHERE T1.year > 1980
```

- Faire la jointure
 $X = T1 \bowtie_{T1.MID=T2.MID} T2$
- Faire la sélection $Y = \sigma_{T1.year > 1980}(X)$
- Faire la projection $Z = \pi_{T2.rating}(Y)$

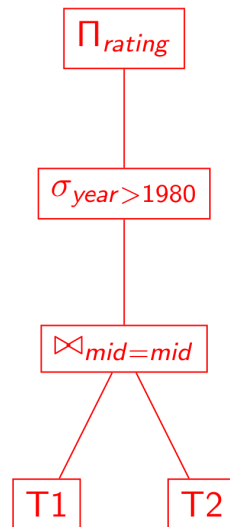
Expression :

$\pi_{T2.rating}(\sigma_{T1.year > 1980}(T1 \bowtie_{T1.MID=T2.MID} T2))$



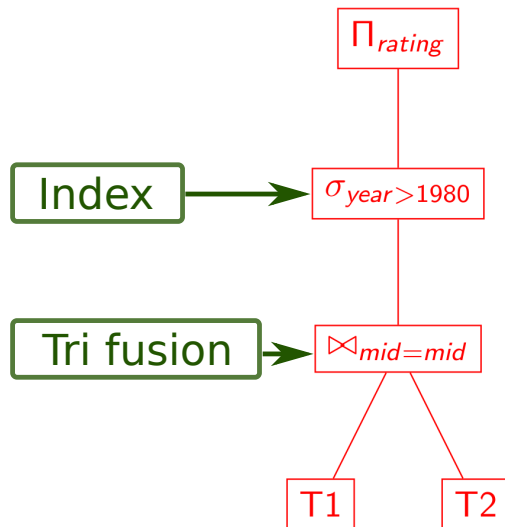
Plan d'exécution : lexique

- Arbre de requête algébrique



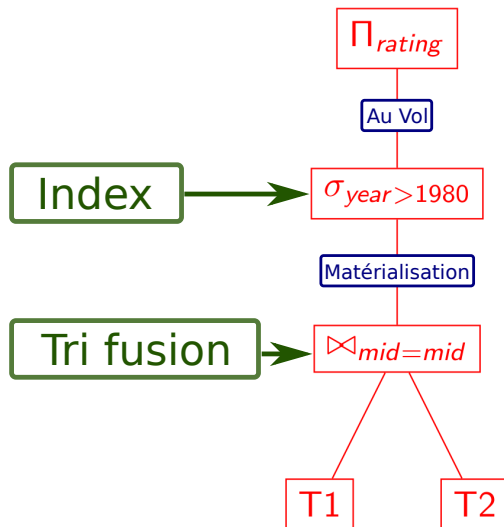
Plan d'exécution : lexique

- Arbre de requête algébrique
- Méthodes - algorithmes



Plan d'exécution : lexique

- Arbre de requête algébrique
- Méthodes - algorithmes
- Enchaînements

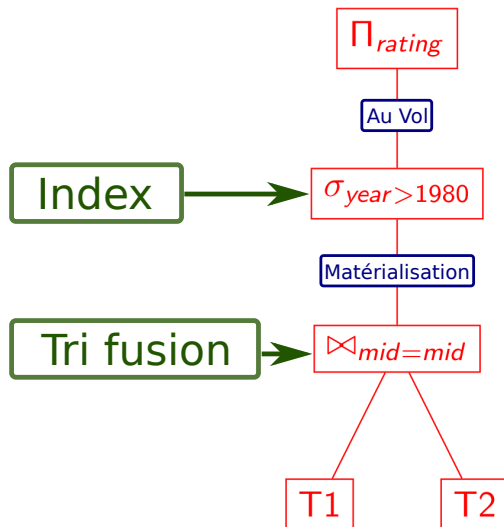


Plan d'exécution

Plan d'exécution : lexique

- Arbres de requête algébrique
- Méthodes - algorithmes
- Enchaînements

Évaluation de plans !!!



Du SQL au plan d'exécution ?

```
SELECT T2.rating FROM T1  
  INNER JOIN T2 ON T1.MID=T2.MID  
 WHERE T1.year > 1980
```

- Faire la jointure $X = T1 \bowtie_{T1.MID=T2.MID} T2$

Du SQL au plan d'exécution ?

```
SELECT T2.rating FROM T1  
  INNER JOIN T2 ON T1.MID=T2.MID  
 WHERE T1.year > 1980
```

- Faire la jointure $X = T1 \bowtie_{T1.MID=T2.MID} T2$
- Faire la sélection $Y = \sigma_{T1.year > 1980}(X)$

Du SQL au plan d'exécution ?

```
SELECT T2.rating FROM T1
  INNER JOIN T2 ON T1.MID=T2.MID
 WHERE T1.year > 1980
```

- Faire la jointure $X = T1 \bowtie_{T1.MID=T2.MID} T2$
- Faire la sélection $Y = \sigma_{T1.year > 1980}(X)$
- Faire la projection $Z = \pi_{T2.rating}(Y)$

Opérations :

$\pi_{T2.rating}(\sigma_{T1.year > 1980}(T1 \bowtie_{T1.MID=T2.MID} T2))$

Matérialisation :

Stockage des tables intermédiaires sur le disque avant d'exécuter la prochaine opération

Du SQL au plan d'exécution ?

```
SELECT T2.rating FROM T1
  INNER JOIN T2 ON T1.MID=T2.MID
 WHERE T1.year > 1980
```

- Faire la jointure $X = T1 \bowtie_{T1.MID=T2.MID} T2$
- Faire la sélection $Y = \sigma_{T1.year > 1980}(X)$
- Faire la projection $Z = \pi_{T2.rating}(Y)$

Opérations :

$\pi_{T2.rating}(\sigma_{T1.year > 1980}(T1 \bowtie_{T1.MID=T2.MID} T2))$

Matérialisation :

Stockage des tables intermédiaires sur le disque avant d'exécuter la prochaine opération

1. Exécuter l'intégralité de la jointure dans une relation intermédiaire X

Du SQL au plan d'exécution ?

```
SELECT T2.rating FROM T1
  INNER JOIN T2 ON T1.MID=T2.MID
 WHERE T1.year > 1980
```

- Faire la jointure $X = T1 \bowtie_{T1.MID=T2.MID} T2$
- Faire la sélection $Y = \sigma_{T1.year > 1980}(X)$
- Faire la projection $Z = \pi_{T2.rating}(Y)$

Opérations :

$\pi_{T2.rating}(\sigma_{T1.year > 1980}(T1 \bowtie_{T1.MID=T2.MID} T2))$

Matérialisation :

Stockage des tables intermédiaires sur le disque avant d'exécuter la prochaine opération

1. Exécuter l'intégralité de la jointure dans une relation intermédiaire X
2. Exécuter la sélection sur tout X puis stockage de la relation dans Y

Du SQL au plan d'exécution ?

```
SELECT T2.rating FROM T1
  INNER JOIN T2 ON T1.MID=T2.MID
 WHERE T1.year > 1980
```

- Faire la jointure $X = T1 \bowtie_{T1.MID=T2.MID} T2$
- Faire la sélection $Y = \sigma_{T1.year > 1980}(X)$
- Faire la projection $Z = \pi_{T2.rating}(Y)$

Opérations :

$\pi_{T2.rating}(\sigma_{T1.year > 1980}(T1 \bowtie_{T1.MID=T2.MID} T2))$

Matérialisation :

Stockage des tables intermédiaires sur le disque avant d'exécuter la prochaine opération

1. Exécuter l'intégralité de la jointure dans une relation intermédiaire X
2. Exécuter la sélection sur tout X puis stockage de la relation dans Y
3. Exécuter la projection sur Y

Du SQL au plan d'exécution ?

```
SELECT T2.rating FROM T1
  INNER JOIN T2 ON T1.MID=T2.MID
 WHERE T1.year > 1980
```

- Faire la jointure $X = T1 \bowtie_{T1.MID=T2.MID} T2$
- Faire la sélection $Y = \sigma_{T1.year > 1980}(X)$
- Faire la projection $Z = \pi_{T2.rating}(Y)$

Opérations :

$\pi_{T2.rating}(\sigma_{T1.year > 1980}(T1 \bowtie_{T1.MID=T2.MID} T2))$

Matérialisation :

Stockage des tables intermédiaires sur le disque avant d'exécuter la prochaine opération

1. Exécuter l'intégralité de la jointure dans une relation intermédiaire X
2. Exécuter la sélection sur tout X puis stockage de la relation dans Y
3. Exécuter la projection sur Y

Les opérations 2 et 3 sont mises en attente...

Plan d'exécution : temps de réponse et temps d'exécution

Le temps de réponse :

Le temps pour obtenir **1 enregistrement** du résultat

Temps d'exécution :

Temps pour obtenir l'ensemble des enregistrements du résultat (d'une requête)

Matérialisation exemple :

```
SELECT T1.title FROM T1 WHERE T1.year > 1980
```

- On suppose qu'il y a 1000 enregistrements satisfaisant la requête
- On suppose que $\sigma_{year > 1980}(T1)$ prend 1 seconde par enregistrement
- On suppose qu'il faut 2 secondes pour le traitement d'un enregistrement par l'application

Matérialisation

1. **Temps de réponse ?**
→ 1000 secondes écriture de la table intermédiaire
2. **Temps pour obtenir le résultat**
→ $1000 + 2000 = 3000$ secondes

Matérialisation exemple :

```
SELECT T1.title FROM T1 WHERE T1.year > 1980
```

- On suppose qu'il y 1000 enregistrements satisfaisant la requête
- On suppose que $\sigma_{year > 1980}(T1)$ prend 1 seconde par enregistrement
- On suppose qu'il faut 2 secondes pour le traitement d'un enregistrement par l'application

Matérialisation

1. Temps de réponse ?

→ 1000 secondes écriture de la table intermédiaire

2. Temps pour obtenir le résultat

→ $1000 + 2000 = 3000$ secondes

Faire la projection avant la fin de la sélection ?

Du SQL au plan d'exécution ?

```
SELECT T2.rating FROM T1
  INNER JOIN T2 ON T1.MID=T2.MID
 WHERE T1.year > 1980
```

- Faire la jointure $X = T1 \bowtie_{T1.MID=T2.MID} T2$
- Faire la sélection $\sigma_{T1.year > 1980}(Y)$
- Faire la projection $\pi_{T2.rating}(Z)$

Opérations :

$\pi_{T2.rating}(\sigma_{T1.year > 1980}(T1 \bowtie_{T1.MID=T2.MID} T2))$

⚠ Faut-il attendre tous les résultats ?

Pipelining

Ne pas attendre la fin de l'exécution de chaque sous-opération

Du SQL au plan d'exécution ?

```
SELECT T2.rating FROM T1
  INNER JOIN T2 ON T1.MID=T2.MID
 WHERE T1.year > 1980
```

- Faire la jointure $X = T1 \bowtie_{T1.MID=T2.MID} T2$
- Faire la sélection $\sigma_{T1.year > 1980}(Y)$
- Faire la projection $\pi_{T2.rating}(Z)$

Opérations :

$\pi_{T2.rating}(\sigma_{T1.year > 1980}(T1 \bowtie_{T1.MID=T2.MID} T2))$

⚠ Faut-il attendre tous les résultats ?

Pipelining

Ne pas attendre la fin de l'exécution de chaque sous-opération

- Pas de stockage sur disque intermédiaire (seulement une page dans le cache/buffer)
- Demande effectuée par l'opération parent du prochain enregistrement/prochaine page (itérateur/curseur)

Pipelining-exemple :

```
SELECT T1.title FROM T1 WHERE T1.year > 1980
```

- On suppose qu'il y a 1000 enregistrements satisfaisant la requête
- On suppose que $\sigma_{year > 1980}(T1)$ prend 1 seconde pour écrire un enregistrement du résultat
- On suppose qu'il faut 2 secondes pour le traitement global

Pipelining

1. Temps de réponse ?

Pipelining-exemple :

```
SELECT T1.title FROM T1 WHERE T1.year > 1980
```

- On suppose qu'il y a 1000 enregistrements satisfaisant la requête
- On suppose que $\sigma_{year > 1980}(T1)$ prend 1 seconde pour écrire un enregistrement du résultat
- On suppose qu'il faut 2 secondes pour le traitement global

Pipelining

1. **Temps de réponse ?**
→ 1 secondes
2. **Temps pour traiter tous les enregistrements**

Pipelining-exemple :

```
SELECT T1.title FROM T1 WHERE T1.year > 1980
```

- On suppose qu'il y a 1000 enregistrements satisfaisant la requête
- On suppose que $\sigma_{year > 1980}(T1)$ prend 1 seconde pour écrire un enregistrement du résultat
- On suppose qu'il faut 2 secondes pour le traitement global

Pipelining

1. **Temps de réponse ?**
→ 1 secondes
2. **Temps pour traiter tous les enregistrements**
→ ≈ 2000 secondes

Pipelining-exemple :

```
SELECT T1.title FROM T1 WHERE T1.year > 1980
```

- On suppose qu'il y a 1000 enregistrements satisfaisant la requête
- On suppose que $\sigma_{year > 1980}(T1)$ prend 1 seconde pour écrire un enregistrement du résultat
- On suppose qu'il faut 2 secondes pour le traitement global

Pipelining

1. **Temps de réponse ?**
→ 1 secondes
2. **Temps pour traiter tous les enregistrements**
→ ≈ 2000 secondes

Est-il possible d'effectuer toutes les opérations en pipelining ?

Opérateurs bloquants

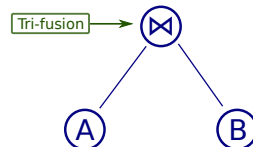
⚠ Certains opérateurs ont besoins de toute la relation précédente pour calculer un résultat

→ C'est le cas des fonctions de trie et d'agrégation :

- ORDER BY (Trier selon un attribut)
- MAX, MIN (valeur maximum/minimum)
- SUM, AVG (somme, moyenne d'un attribut)
- GROUP BY (Grouper selon la valeur d'un attribut)
- ...

Opérateurs bloquants

L'opération de jointure comporte des restrictions selon le choix de son exécution



Opérateurs bloquants

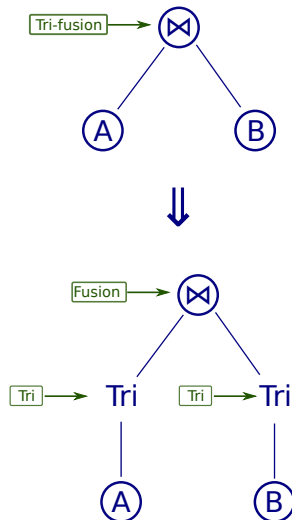
L'opération de jointure comporte des restrictions selon le choix de son exécution

- Jointures par partitionnement (**étape de pré-traitement**)

Opérateurs bloquants

L'opération de jointure comporte des restrictions selon le choix de son exécution

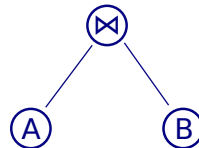
- Jointures par partitionnement (**étape de pré-traitement**)



Opérateurs bloquants

L'opération de jointure comporte des restrictions selon le choix de son exécution

- Jointures par partitionnement (**étape de pré-traitement**)
- La sous-table droite pour toutes les jointures doit être matérialisé !!



Matérialisation

L'exécution de l'opérateur produit une table/relation intermédiaire stockée en **mémoire secondaire** (disque)

Matérialisation

L'exécution de l'opérateur produit une table/relation intermédiaire stockée en **mémoire secondaire** (disque)

→ L'opérateur parent doit attendre que la table soit créée sur le disque pour débuter son exécution

Matérialisation versus Pipelining : récapitulatif

Matérialisation

L'exécution de l'opérateur produit une table/relation intermédiaire stockée en **mémoire secondaire** (disque)

→ L'opérateur parent doit attendre que la table soit créée sur le disque pour débuter son exécution

Pipelining

Passage immédiat des résultats (nuplet ou page) produit. Pas de stockage en **mémoire secondaire**, utilisation du buffer !

Matérialisation versus Pipelining : récapitulatif

Matérialisation

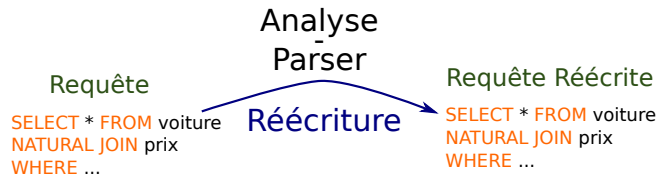
L'exécution de l'opérateur produit une table/relation intermédiaire stockée en **mémoire secondaire** (disque)

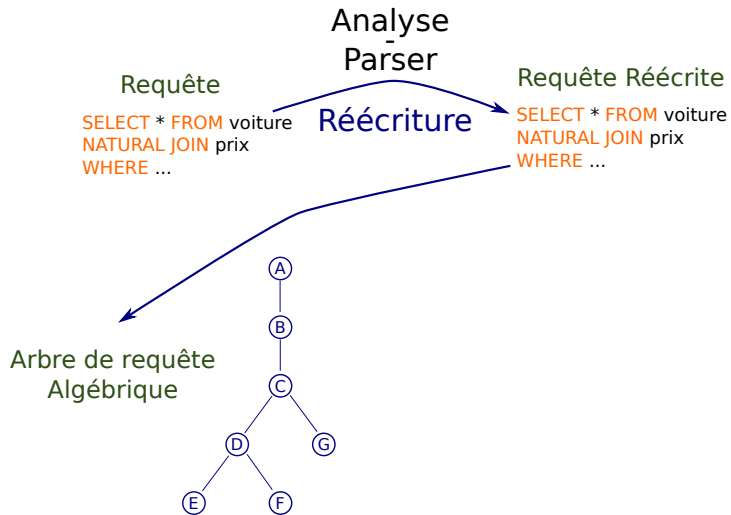
→ L'opérateur parent doit attendre que la table soit créée sur le disque pour débuter son exécution

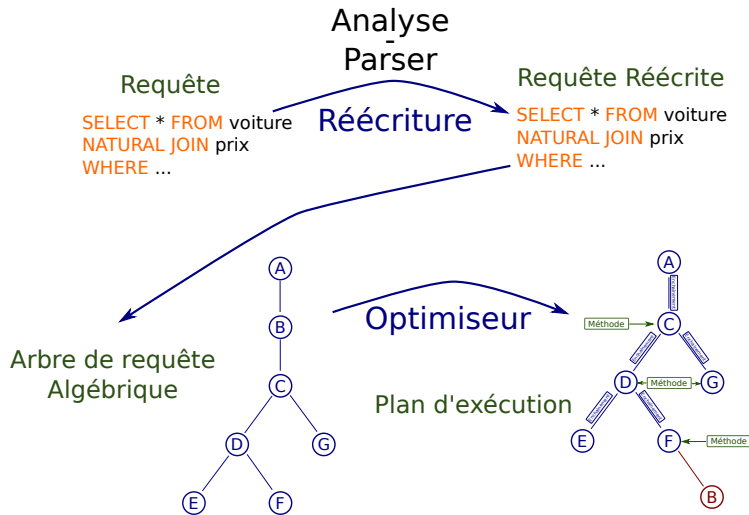
Pipelining

Passage immédiat des résultats (nuplet ou page) produit. Pas de stockage en **mémoire secondaire**, utilisation du buffer !

→ L'opérateur parent n'attend pas la fin de l'exécution de l'opérateur pour démarrer sa propre exécution.







- Traduction (evaluation + parsing)

- Traduction (evaluation + parsing)
- Réécriture : Réécrire la requête (Simplification de la requête)

- Traduction (evaluation + parsing)
- Réécriture : Réécrire la requête (Simplification de la requête)
- Optimiseur : Trouver le “meilleur” plan d'exécution

- Traduction (evaluation + parsing)
- Réécriture : Réécrire la requête (Simplification de la requête)
- Optimiseur : Trouver le “meilleur” plan d'exécution
- Exécution : Calculer le résultat de la requête

Éliminer les problèmes liés à la formulation de la requête

- Conditions inutiles (antilogies & tautologie)
 - **SELECT * FROM A WHERE "a" = "b";**
 - **SELECT * FROM A WHERE "a" = "a";**
- Simplification de conditions
 - (A **BETWEEN** 10 **AND** 15) OR (A **BETWEEN** 13 **AND** 20)
 - ⇒ (A **BETWEEN** 10 **AND** 20)
- ...

Supprimer/modifier toutes les opérations non utiles

Plusieurs expressions algébrique pour une requête

Pour une requête donnée il existe plusieurs écritures algébriques (et écriture de la requête)

- $\pi_* [\sigma_{R.a=2} (R \bowtie (S \bowtie T))]$
- $\pi_* [T \bowtie (\sigma_{R.a=2}(R) \bowtie S)]$
- $\pi_* [T \bowtie [S \bowtie (\sigma_{R.a=2}(R))]]$

Les expressions algébriques précédentes sont équivalentes !!!

Plusieurs expressions algébrique pour une requête

Pour une requête donnée il existe plusieurs écritures algébriques (et écriture de la requête)

- $\pi_* [\sigma_{R.a=2} (R \bowtie (S \bowtie T))]$
- $\pi_* [T \bowtie (\sigma_{R.a=2}(R) \bowtie S)]$
- $\pi_* [T \bowtie [S \bowtie (\sigma_{R.a=2}(R))]]$

Les expressions algébriques précédentes sont équivalentes !!!

Requête ?

→ **SELECT * FROM R NATURAL JOIN S NATURAL JOIN T WHERE R.a=2**

- Commutativité des jointures

$$R \bowtie S \Leftrightarrow S \bowtie R$$

- Associativité des jointures

$$(R \bowtie S) \bowtie T \Leftrightarrow R \bowtie (S \bowtie T)$$

- Regroupement des sélections

$$\sigma_{c_1}(\sigma_{c_2}(R)) \Leftrightarrow \sigma_{c_1 \wedge c_2}(R)$$

- Commutativité de la sélection-projection

$$\pi_{A_1, A_2, \dots, A_n}(\sigma_{A_i=a}(R)) \Leftrightarrow \sigma_{A_i=a}(\pi_{A_1, A_2, \dots, A_n}(R))$$

- Commutativité de la sélection-jointure (c_1 sur R)

$$\sigma_{c_1}(R \bowtie S) \Leftrightarrow \sigma_{c_1}(R) \bowtie S$$

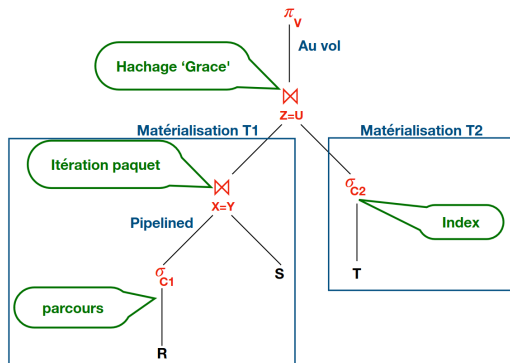
- Commutativité de la projection et de la jointure (jointure sur un A_i)

$$\pi_{A_1, \dots, A_p}(R \bowtie S) \Leftrightarrow \pi_{A_1, \dots, A_p}(R) \bowtie \pi_{A_1, \dots, A_p}(S)$$

- Distributivité de la sélection sur l'union
- Distributivité de la projection sur l'union

Plan d'exécution : C'est quoi ?

Un **plan d'exécution** est une abstraction d'une exécution de la requête.

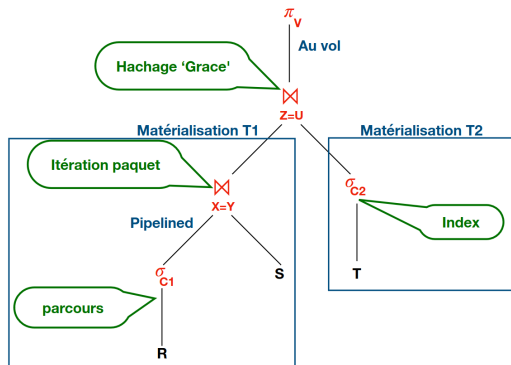


Un plan est représenté par arbre avec :

Des noeuds internes : **opérateurs physiques**
pour la projection π_v , la sélection σ_c , la
jointure \bowtie

Plan d'exécution : C'est quoi ?

Un **plan d'exécution** est une abstraction d'une exécution de la requête.



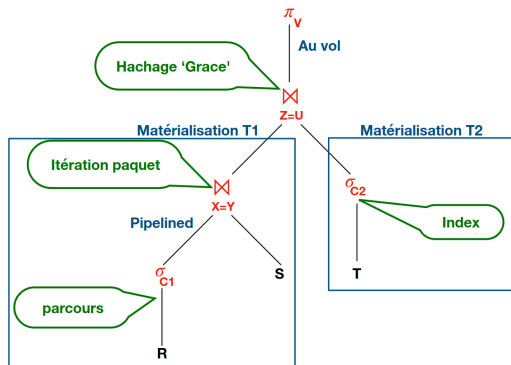
Un plan est représenté par arbre avec :

Des noeuds internes : **opérateurs physiques** pour la projection π_v , la sélection σ_c , la jointure \bowtie

Les feuilles : Ce sont des relations

Plan d'exécution : C'est quoi ?

Un **plan d'exécution** est une abstraction d'une exécution de la requête.



Un plan est représenté par arbre avec :

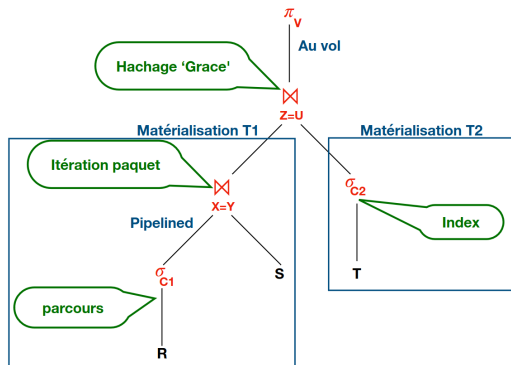
Des noeuds internes : **opérateurs physiques** pour la projection π_V , la sélection σ_C , la jointure \bowtie

Les feuilles : Ce sont des relations

Le mode d'exécution : Processus par itérateur, **Matérialisation** ou **Pipelining**

Plan d'exécution : C'est quoi ?

Un **plan d'exécution** est une abstraction d'une exécution de la requête.



Un plan est représenté par arbre avec :

Des noeuds internes : **opérateurs physiques** pour la projection π_v , la sélection σ_c , la jointure \bowtie

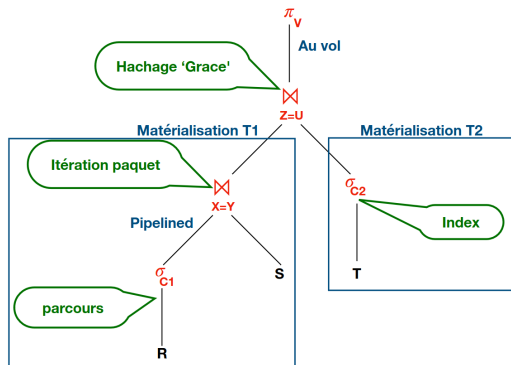
Les feuilles : Ce sont des relations

Le mode d'exécution : Processus par itérateur, **Matérialisation** ou **Pipelining**

Exécution d'un plan : Parcours en profondeur du plan d'exécution

Plan d'exécution : C'est quoi ?

Un **plan d'exécution** est une abstraction d'une exécution de la requête.



Un plan est représenté par arbre avec :

Des noeuds internes : **opérateurs physiques** pour la projection π_v , la sélection σ_c , la jointure \bowtie

Les feuilles : Ce sont des relations

Le mode d'exécution : Processus par itérateur, **Matérialisation** ou **Pipelining**

Exécution d'un plan : Parcours en profondeur du plan d'exécution

Plan d'exécution : un exemple

Données :

On va considérer 3 relations R, S, T dans l' exemple suivant

Relation	R	S	T
Nombre de pages	$F_R = 20$	$F_S = 50$	$F_T = 250$

On souhaite évaluer la requête suivante :

SELECT R.B **FROM** R, S **WHERE** R.A=S.A **AND** S.D=100 **AND** R.C >5

Plan d'exécution : un exemple

Données :

On va considérer 3 relations R, S, T dans l' exemple suivant

Relation	R	S	T
Nombre de pages	$F_R = 20$	$F_S = 50$	$F_T = 250$

On souhaite évaluer la requête suivante :

SELECT R.B **FROM** R, S **WHERE** R.A=S.A **AND** S.D=100 **AND** R.C >5

Quel est le coût de l'évaluation de cette requête ?

Plan d'exécution : un exemple

Données :

On va considérer 3 relations R, S, T dans l' exemple suivant

Relation	R	S	T
Nombre de pages	$F_R = 20$	$F_S = 50$	$F_T = 250$

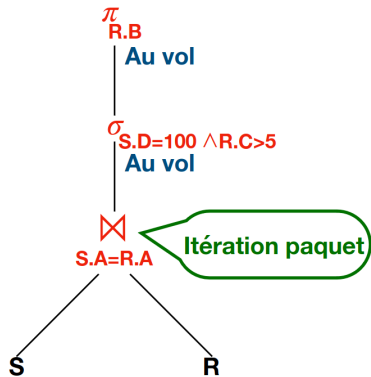
On souhaite évaluer la requête suivante :

SELECT R.B **FROM** R, S **WHERE** R.A=S.A **AND** S.D=100 **AND** R.C >5

Quel est le coût de l'évaluation de cette requête ? → Cela dépend du plan

Plan d'exécution : Plan 1

SELECT R.B FROM R, S WHERE R.A=S.A AND S.D=100 AND R.C >5

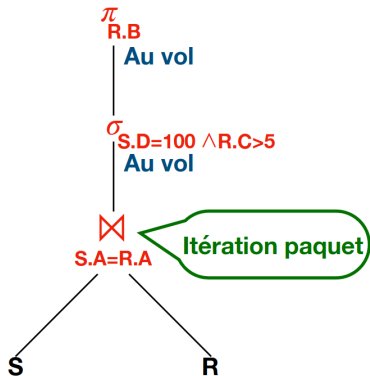


Expression algébrique :

$$\rightarrow \pi_{R.B}(\sigma_{S.D=100 \wedge R.C>5})(R \bowtie S)$$

Plan d'exécution : Plan 1

SELECT R.B FROM R, S WHERE R.A=S.A AND S.D=100 AND R.C >5



Expression algébrique :

$\rightarrow \pi_{R.B}(\sigma_{S.D=100 \wedge R.C>5})(R \bowtie S)$

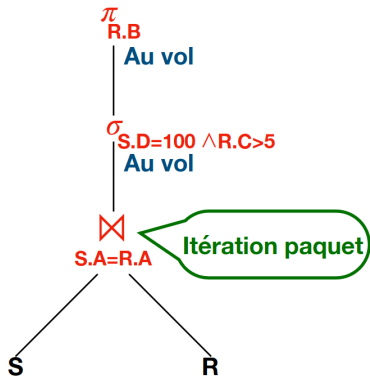
Enchaînements :

- Jointure non matérialisée de *S* et *R* (itération page)
- Sélection au vol (pipelining)
- Projection au vol

Coût :

Plan d'exécution : Plan 1

SELECT R.B FROM R, S WHERE R.A=S.A AND S.D=100 AND R.C >5



Expression algébrique :

$\rightarrow \pi_{R.B}(\sigma_{S.D=100 \wedge R.C>5})(R \bowtie S)$

Enchaînements :

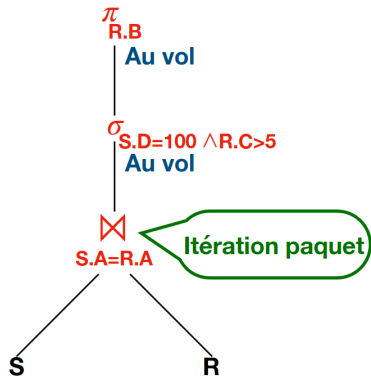
- Jointure non matérialisée de *S* et *R* (itération page)
- Sélection au vol (pipelining)
- Projection au vol

Coût :

- Jointure $F_S + F_S \times F_R$ non matérialisée

Plan d'exécution : Plan 1

SELECT R.B FROM R, S WHERE R.A=S.A AND S.D=100 AND R.C >5



Expression algébrique :

$\rightarrow \pi_{R.B}(\sigma_{S.D=100 \wedge R.C>5})(R \bowtie S)$

Enchaînements :

- Jointure non matérialisée de *S* et *R* (itération page)
- Sélection au vol (pipelining)
- Projection au vol

Coût :

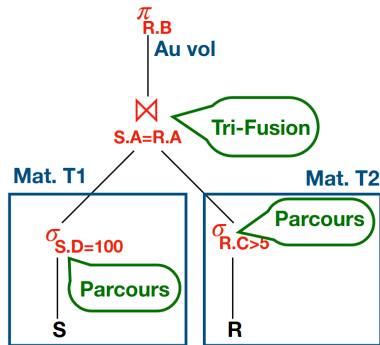
- Jointure $F_S + F_S \times F_R$ non matérialisée
- Sélection $\sigma_{S.D=100 \wedge R.C>5}$ au vol

Plan d'exécution : Plan 2

SELECT R.B FROM R, S WHERE R.A=S.A AND S.D=100 AND R.C >5

Expression algébrique :

Descente des sélections $\rightarrow \pi_{R.B}(\sigma_{S.D=100}(S) \bowtie \sigma_{R.C=5}(R))$



Plan d'exécution : Plan 2

SELECT R.B FROM R, S WHERE R.A=S.A AND S.D=100 AND R.C >5

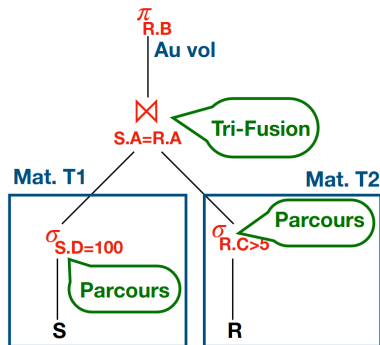
Expression algébrique :

Descente des sélections $\rightarrow \pi_{R.B}(\sigma_{S.D=100}(S) \bowtie \sigma_{R.C=5}(R))$

Enchainements :

- Selection sur S matérialisée (parcours)
- Sélection sur R matérialisée (parcours)
- Jointure de R et S (tri-fusion)
- Projection au vol

Coût :



Plan d'exécution : Plan 2

SELECT R.B FROM R, S WHERE R.A=S.A AND S.D=100 AND R.C >5

Expression algébrique :

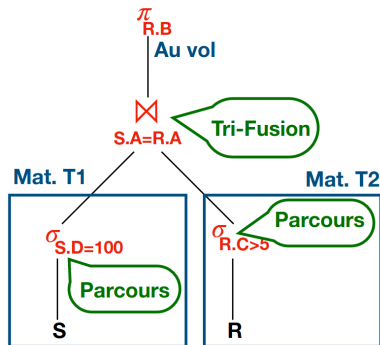
Descente des sélections $\rightarrow \pi_{R.B}(\sigma_{S.D=100}(S) \bowtie \sigma_{R.C=5}(R))$

Enchainements :

- Selection sur S matérialisée (parcours)
- Sélection sur R matérialisée (parcours)
- Jointure de R et S (tri-fusion)
- Projection au vol

Coût :

- $F_S + |M_{T1}|$ (parcours + matérialisation)



Plan d'exécution : Plan 2

SELECT R.B FROM R, S WHERE R.A=S.A AND S.D=100 AND R.C >5

Expression algébrique :

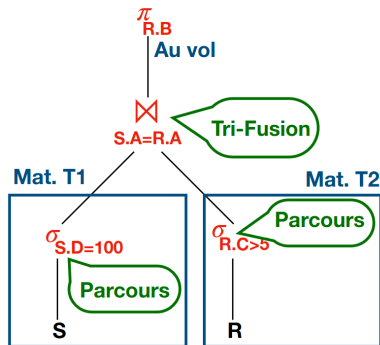
Descente des sélections $\rightarrow \pi_{R.B}(\sigma_{S.D=100}(S) \bowtie \sigma_{R.C=5}(R))$

Enchainements :

- Selection sur S matérialisée (parcours)
- Sélection sur R matérialisée (parcours)
- Jointure de R et S (tri-fusion)
- Projection au vol

Coût :

- $F_S + |M_{T1}|$ (parcours + matérialisation)
- $F_R + |M_{T2}|$ (parcours + matérialisation)



Plan d'exécution : Plan 2

SELECT R.B FROM R, S WHERE R.A=S.A AND S.D=100 AND R.C >5

Expression algébrique :

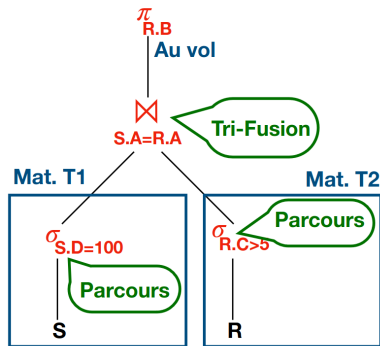
Descente des sélections $\rightarrow \pi_{R.B}(\sigma_{S.D=100}(S) \bowtie \sigma_{R.C=5}(R))$

Enchainements :

- Selection sur S matérialisée (parcours)
- Sélection sur R matérialisée (parcours)
- Jointure de R et S (tri-fusion)
- Projection au vol

Coût :

- $F_S + |M_{T1}|$ (parcours + matérialisation)
- $F_R + |M_{T2}|$ (parcours + matérialisation)
- $2|M_{T1}|(\lceil \log_k(|M_{T1}|) \rceil + 1) + 2|M_{T2}|(\lceil \log_k(|M_{T2}|) \rceil + 1)$ (jointure)
- $|M_{T1}| + |M_{T2}|$ (fusion)

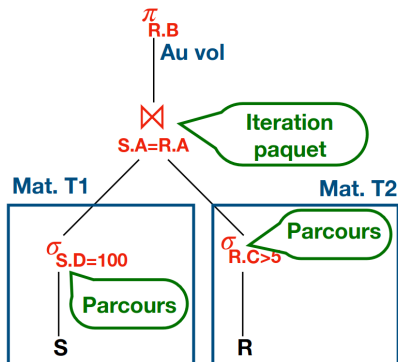


Plan d'exécution : Plan 3

SELECT R.B FROM R, S WHERE R.A=S.A AND S.D=100 AND R.C >5

Expression algébrique :

Même que précédemment



Plan d'exécution : Plan 3

SELECT R.B FROM R, S WHERE R.A=S.A AND S.D=100 AND R.C >5

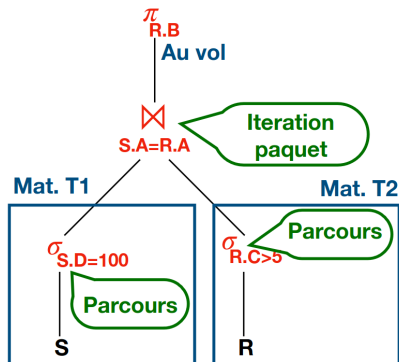
Expression algébrique :

Même que précédemment

Enchainements :

- Selection sur S matérialisée (parcours)
- Sélection sur R matérialisée (parcours)
- Jointure de R et S matérialisée (par paquet)
- Projection au vol

Coût :



Plan d'exécution : Plan 3

SELECT R.B FROM R, S WHERE R.A=S.A AND S.D=100 AND R.C >5

Expression algébrique :

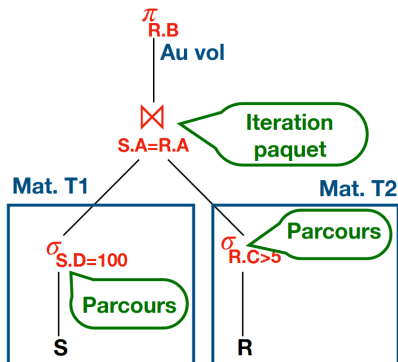
Même que précédemment

Enchainements :

- Selection sur S matérialisée (parcours)
- Sélection sur R matérialisée (parcours)
- Jointure de R et S matérialisée (par paquet)
- Projection au vol

Coût :

- $F_S + |M_{T1}|$ (parcours + matérialisation)



Plan d'exécution : Plan 3

SELECT R.B FROM R, S WHERE R.A=S.A AND S.D=100 AND R.C >5

Expression algébrique :

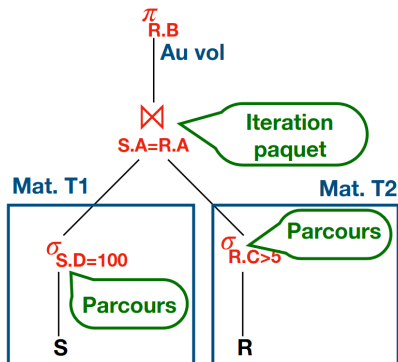
Même que précédemment

Enchainements :

- Selection sur S matérialisée (parcours)
- Sélection sur R matérialisée (parcours)
- Jointure de R et S matérialisée (par paquet)
- Projection au vol

Coût :

- $F_S + |M_{T1}|$ (parcours + matérialisation)
- $F_R + |M_{T2}|$ (parcours + matérialisation)



Plan d'exécution : Plan 3

SELECT R.B FROM R, S WHERE R.A=S.A AND S.D=100 AND R.C >5

Expression algébrique :

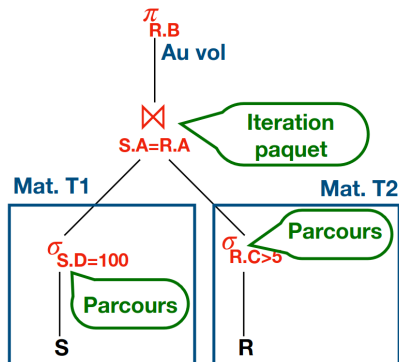
Même que précédemment

Enchainements :

- Selection sur S matérialisée (parcours)
- Sélection sur R matérialisée (parcours)
- Jointure de R et S matérialisée (par paquet)
- Projection au vol

Coût :

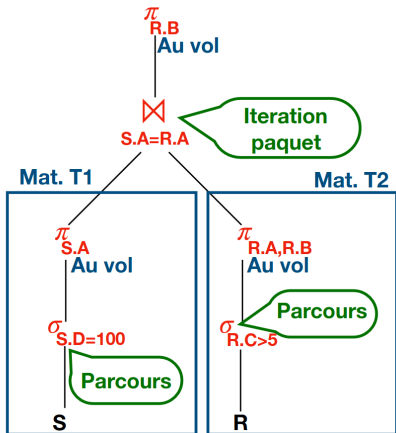
- $F_S + |M_{T1}|$ (parcours + matérialisation)
- $F_R + |M_{T2}|$ (parcours + matérialisation)
- $|M_{T1}| + \frac{|M_{T1}|}{k} \times |M_{T2}|$
- Projection au vol



Plan d'exécution : Plan 4

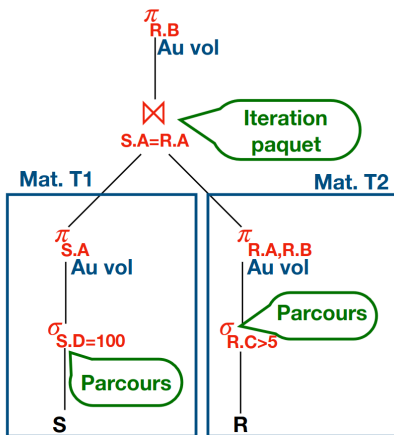
SELECT R.B, FROM R, S WHERE R.A=S.A AND S.D=100 AND R.C >5

Expression algébrique :



Plan d'exécution : Plan 4

SELECT R.B, FROM R, S WHERE R.A=S.A AND S.D=100 AND R.C >5



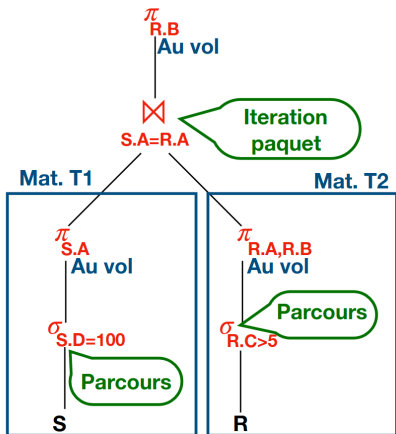
Expression algébrique :

Descente des projection (ajouter le champ associé à la jointure)

Enchainements :

Plan d'exécution : Plan 4

SELECT R.B, FROM R, S WHERE R.A=S.A AND S.D=100 AND R.C >5



Expression algébrique :

Descente des projection (ajouter le champ associé à la jointure)

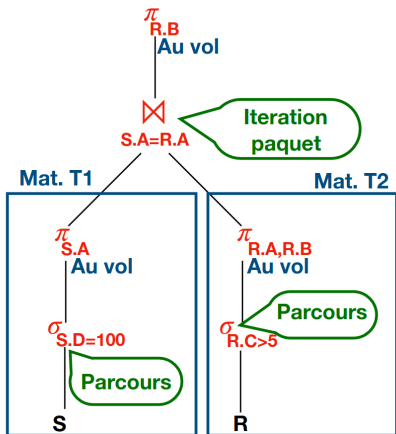
Enchainements :

- Selection-projection sur S matérialisée (parcours)
- Sélection-projection sur R matérialisée (parcours)
- Jointure de R et S matérialisée (tri-fusion)

Coût :

Plan d'exécution : Plan 4

SELECT R.B, FROM R, S WHERE R.A=S.A AND S.D=100 AND R.C >5



Expression algébrique :

Descente des projection (ajouter le champ associé à la jointure)

Enchainements :

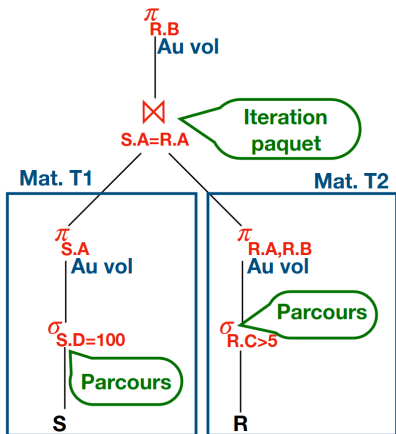
- Selection-projection sur S matérialisée (parcours)
- Sélection-projection sur R matérialisée (parcours)
- Jointure de R et S matérialisée (tri-fusion)

Coût :

- $F_S + |M_{T1}|$ (parcours-projection + matérialisation)

Plan d'exécution : Plan 4

SELECT R.B, FROM R, S WHERE R.A=S.A AND S.D=100 AND R.C >5



Expression algébrique :

Descente des projection (ajouter le champ associé à la jointure)

Enchainements :

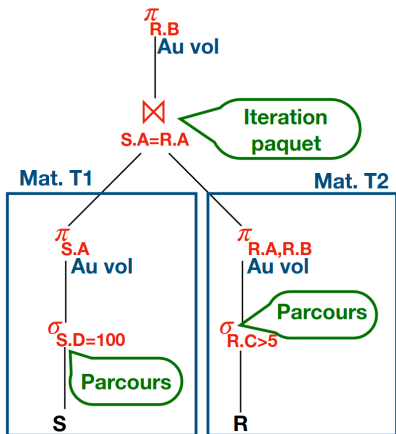
- Selection-projection sur S matérialisée (parcours)
- Sélection-projection sur R matérialisée (parcours)
- Jointure de R et S matérialisée (tri-fusion)

Coût :

- $F_S + |M_{T1}|$ (parcours-projection + matérialisation) → Moins de pages

Plan d'exécution : Plan 4

SELECT R.B, FROM R, S WHERE R.A=S.A AND S.D=100 AND R.C >5



Expression algébrique :

Descente des projection (ajouter le champ associé à la jointure)

Enchainements :

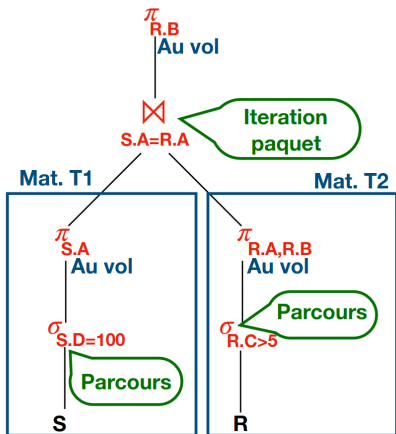
- Selection-projection sur S matérialisée (parcours)
- Sélection-projection sur R matérialisée (parcours)
- Jointure de R et S matérialisée (tri-fusion)

Coût :

- $F_S + |M_{T1}|$ (parcours-projection + matérialisation) → Moins de pages
- $F_R + |M_{T2}|$ (parcours-projection + matérialisation)

Plan d'exécution : Plan 4

SELECT R.B, FROM R, S WHERE R.A=S.A AND S.D=100 AND R.C >5



Expression algébrique :

Descente des projection (ajouter le champ associé à la jointure)

Enchainements :

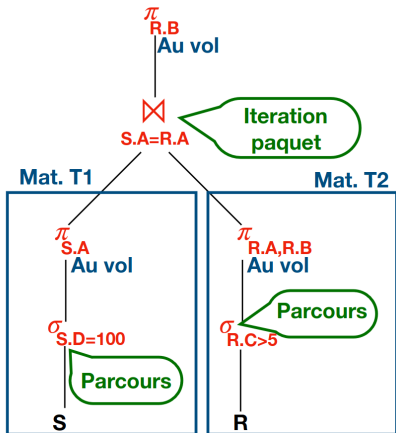
- Selection-projection sur S matérialisée (parcours)
- Sélection-projection sur R matérialisée (parcours)
- Jointure de R et S matérialisée (tri-fusion)

Coût :

- $F_S + |M_{T1}|$ (parcours-projection + matérialisation) → Moins de pages
- $F_R + |M_{T2}|$ (parcours-projection + matérialisation) → Moins de pages

Plan d'exécution : Plan 4

SELECT R.B, FROM R, S WHERE R.A=S.A AND S.D=100 AND R.C >5



Expression algébrique :

Descente des projection (ajouter le champ associé à la jointure)

Enchainements :

- Selection-projection sur S matérialisée (parcours)
- Sélection-projection sur R matérialisée (parcours)
- Jointure de R et S matérialisée (tri-fusion)

Coût :

- $F_S + |M_{T1}|$ (parcours-projection + matérialisation) → Moins de pages
- $F_R + |M_{T2}|$ (parcours-projection + matérialisation) → Moins de pages
- $|M_{T1}| + \frac{|M_{T1}|}{k} \times |M_{T2}|$

Obtenir les différents plans d'exécution

- Ordre des opérateurs de sélection
- Ordre des opérateurs de jointure
→ Estimation du temps des jointures

Exemple : Jointure de R, S, T combien d'estimations ? :

Obtenir les différents plans d'exécution

- Ordre des opérateurs de sélection
- Ordre des opérateurs de jointure
→ Estimation du temps des jointures

Exemple : Jointure de R, S, T combien d'estimations ? :

Ordre	RST	RTS	TRS	TSR	SRT	STR
-------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

→ Estimation des différents ordres $n!$ possibilités !!!

- Quelles méthodes (en fonction des structures disponibles) ?
→ Estimation avec tous les ordres possibles des différentes méthodes

→ Obtenir tous les plans ? → **NON**

Restreindre l'Espace de recherche des plans :

- Sélection lors du premier accès à une relation

Sélection

On considérera souvent les sélections lors du premier accès à la table (au plus proche des feuilles)

Restreindre l'Espace de recherche des plans :

- Sélection lors du premier accès à une relation
- Projection lors de la production du résultat

Projection

Faire la projection à la racine (au vol) !!!

Restreindre l'Espace de recherche des plans :

- Sélection lors du premier accès à une relation
- Projection lors de la production du résultat
- Éviter les jointure de type produit cartésien

Jointure

Faire les jointures sur des relations où les attributs existent

Restreindre l'Espace de recherche des plans :

- Sélection lors du premier accès à une relation
- Projection lors de la production du résultat
- Éviter les jointure de type produit cartésien
- Utiliser le pipelining quand c'est possible (toujours pour les sélections)

Pipelining

Éviter l'écriture des relations intermédiaires

Plan d'exécution : Un exemple avec PostgreSQL

Utilisation de EXPLAIN

EXPLAIN SELECT user_id, mail from user_campaign NATURAL JOIN users NATURAL JOIN user_role WHERE campaign_id > 1 AND user_role.role_name = 'ANNOTATOR';

```
Nested Loop (cost=1.19..3.84 rows=1 width=278)
-> Hash Join (cost=1.05..2.78 rows=1 width=12)
    Hash Cond: (user_campaign.role_id = user_role.role_id)
    -> Seq Scan on user_campaign (cost=0.00..1.69 rows=18 width=8)
        Filter: (campaign_id > 1)
    -> Hash (cost=1.04..1.04 rows=1 width=4)
        -> Seq Scan on user_role (cost=0.00..1.04 rows=1 width=4)
            Filter: ((role_name)::text = 'ANNOTATOR'::text)
-> Index Scan using users_pkey on users (cost=0.14..1.05 rows=1 width=282)
    Index Cond: (user_id = user_campaign.user_id)
    Filter: (user_campaign.role_id = role_id)
```

Plan d'exécution : Un exemple avec PostgreSQL

Utilisation de EXPLAIN

```
EXPLAIN SELECT * FROM annotation WHERE annotation_id > 5;
```

Plan d'exécution : Un exemple avec PostgreSQL

Utilisation de EXPLAIN

EXPLAIN SELECT * FROM annotation WHERE annotation_id > 5;

```
Seq Scan on annotation (cost=0.00..1979.44 rows=12750 width=1086)  
Filter: (annotation_id > 5)
```


Plan d'exécution : Un exemple avec PostgreSQL

Utilisation de EXPLAIN

EXPLAIN SELECT * FROM annotation WHERE annotation_id > 5;

```
Seq Scan on annotation (cost=0.00..1979.44 rows=12750 width=1086)  
Filter: (annotation_id > 5)
```

EXPLAIN SELECT * FROM annotation WHERE annotation_id < 5;

Plan d'exécution : Un exemple avec PostgreSQL

Utilisation de EXPLAIN

EXPLAIN SELECT * FROM annotation WHERE annotation_id > 5;

```
Seq Scan on annotation (cost=0.00..1979.44 rows=12750 width=1086)  
Filter: (annotation_id > 5)
```

EXPLAIN SELECT * FROM annotation WHERE annotation_id < 5;

```
Index Scan using annotation_pkey on annotation (cost=0.29..14.93 rows=4 width=1086)  
Index Cond: (annotation_id < 5)
```

Plan d'exécution : Un exemple avec PostgreSQL

Utilisation de EXPLAIN

EXPLAIN SELECT * FROM annotation WHERE annotation_id > 5;

```
Seq Scan on annotation (cost=0.00..1979.44 rows=12750 width=1086)  
Filter: (annotation_id > 5)
```

EXPLAIN SELECT * FROM annotation WHERE annotation_id < 5;

```
Index Scan using annotation_pkey on annotation (cost=0.29..14.93 rows=4 width=1086)  
Index Cond: (annotation_id < 5)
```

EXPLAIN SELECT * FROM annotation WHERE annotation_id < 1000;

Plan d'exécution : Un exemple avec PostgreSQL

Utilisation de EXPLAIN

EXPLAIN SELECT * FROM annotation WHERE annotation_id > 5;

```
Seq Scan on annotation (cost=0.00..1979.44 rows=12750 width=1086)
Filter: (annotation_id > 5)
```

EXPLAIN SELECT * FROM annotation WHERE annotation_id < 5;

```
Index Scan using annotation_pkey on annotation (cost=0.29..14.93 rows=4 width=1086)
Index Cond: (annotation_id < 5)
```

EXPLAIN SELECT * FROM annotation WHERE annotation_id < 1000;

```
Bitmap Heap Scan on annotation (cost=20.02..1624.81 rows=998 width=1086)
Recheck Cond: (annotation_id < 1000)
-> Bitmap Index Scan on annotation_pkey (cost=0.00..19.77 rows=998 width=0)
    Index Cond: (annotation_id < 1000)
```

Approche bottom-up

Approche bottom-up

Etape 1

- Génération des sous plan mono-relation (sélections σ)
- Estimation de leurs coût
- Sélection des "meilleurs" sous-plans mono-relation

Approche bottom-up

Etape 1

- Génération des sous plan mono-relation (sélections σ)
- Estimation de leurs coût
- Sélection des "meilleurs" sous-plans mono-relation

Etape 2

- Génération des sous plan duo-relation (jointures \bowtie)
- Estimation de leurs coût
- Sélection des "meilleurs" sous-plans duo-relation

Les compétences acquises

- Constuire un arbre algébrique de requête
- Estimer le coût d'une requêtes
- Déterminer un plan " efficace"