

Exercice n°1 : SQL et plan d'exécution

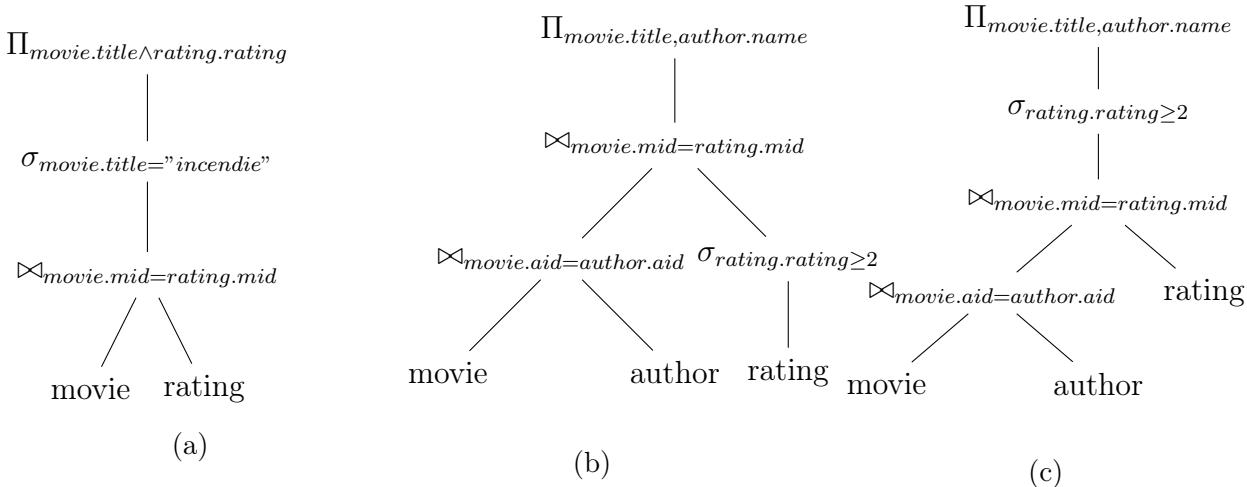


FIGURE 1 – Trois arbres de requête algébrique

Question n°1 : Proposez pour les trois arbres de requêtes algébriques (figure 1) une requête SQL possible.

Solution

- Arbre (a) : `SELECT title, rating FROM movie INNER JOIN rating ON rating.mid = movie.mid WHERE movie.title = 'incendie'`
 - Arbre (b) : `SELECT movie.title, author.name FROM movie INNER JOIN rating ON rating.mid = movie.mid INNER JOIN author ON author.aid = movie.aid WHERE rating >= 2`
 - Arbre (c) : Même requête possible `SELECT movie.title, author.name FROM movie INNER JOIN rating ON rating.mid = movie.mid INNER JOIN author ON author.aid = movie.aid WHERE rating >= 2`

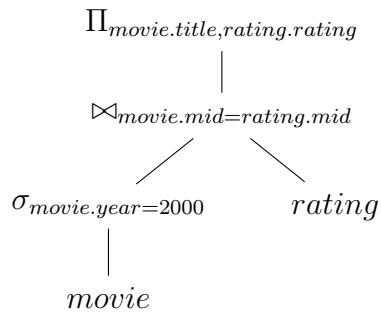
Question n°2 : Pour les trois arbres de la figure 1, dites si oui ou non des matérialisations sont nécessaires. On rappelle que toutes les boucles externes de jointure correspondent au sous arbre gauche (si jointure par itération).

Solution

- **Arbre (a)** : La totalité de l'arbre peut-être exécuté en pipelining en faisant une jointure par itération.
 - **Arbre (b)** : Le sous arbre droit de la seconde jointure ne correspond pas à une relation matérialisé, il sera donc nécessaire de matérialiser le sous arbre droit.
 - **Arbre (c)** : Pour toutes les jointures, le sous arbre droit correspond à une relation (une relation est matérialisé sur le disque), l'opération de filtrage/sélection n'a pas besoin d'être matérialisé (au vol), la projection non plus. Il n'est donc pas nécessaire de passer par une étape de matérialisation

Question n°3 : Dessinez un arbre de requête algébrique pour :

```
SELECT movie.title, rating.rating FROM movie INNER JOIN rating ON  
movie.mid=rating.mid WHERE movie.year = 2000
```

Solution**Exercice n°2 : Estimation du coût d'un plan**

On considère dans cet exercice une base de données contenant trois relations :

- library (lid, name, location)
- book (bid, title, author, publisher, publication_year)
- stock (bid, lid, quantity) (bid et lid sont des clefs étrangères)

La base de données contient 250.000 livres, 55 bibliothèques et la relation **stock** contient 1.000.000 d'entrées. Une page peut contenir 250 livres, 500 bibliothèques et 1000 entrées de la relation **stock**. Il existe un index B+ de type 2 sur les clefs primaires de la table. On dispose aussi d'un index B+ (de type 2) pour les champs *publication_year* et *quantity*, chaque page de l'index peut contenir (pour les deux index) 2000 entrées et la profondeur des arbres vaut respectivement 2 et 3.

Question n°1 : On cherche les bibliothèques et le nom des livres tel que la bibliothèque contient au moins 3 exemplaires où le livre a été publié après 2020. La requête qui peut s'exprimer en SQL comme

```
SELECT name, title FROM library INNER JOIN stock ON library.lid=stock.lid INNER JOIN book ON book.bid=stock.bid WHERE publication_year >= 2020 AND quantity >= 3
```

Expliquez quelles sont les données dont vous auriez besoin pour calculer le nombre d'E/S du plan d'exécution.

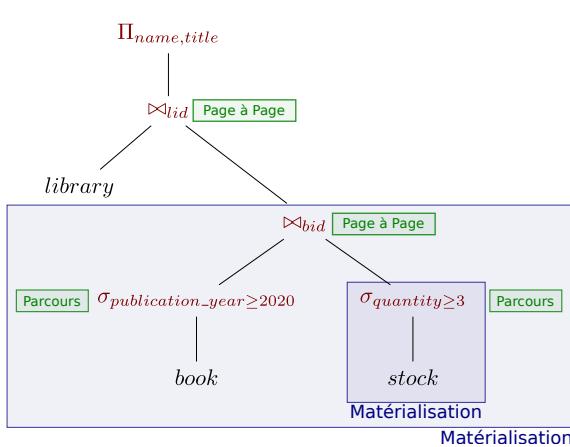
Solution

Pour estimer le temps d'exécution d'un plan pour la requête (en E/S pages) précédentes nous avons besoin :

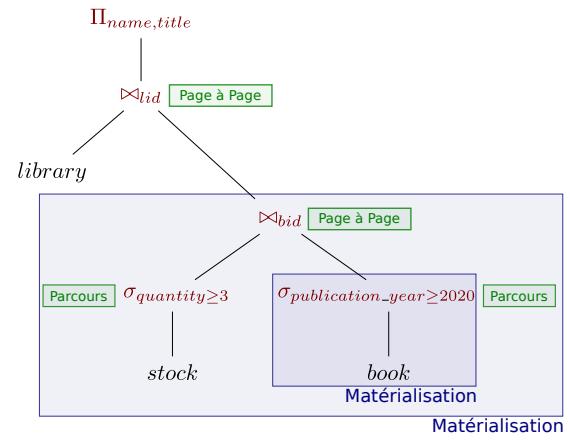
- Le nombre d'éléments sélectionnés pour $\sigma_{\text{publication_year} \geq 2020}$
- Le nombre d'éléments sélectionnés pour $\sigma_{\text{quantity} \geq 3}$
- Le nombre d'éléments issue des jointures
- La taille des lignes pour la jointure
- Le nombre d'éléments contenu dans les différentes relations
- La taille des pages (ou le nombre d'éléments contenus dans une page pour les différentes relations)

Et bien sûr le plan d'exécution, c'est à dire les méthodes d'évaluation des opérateurs, les matérialisations et l'arbre de requête algébrique associé au plan.

Question n°2 : En considérant que l'évaluation de $c_1 = \sigma_{\text{publication_year} \geq 2020}$ produit 5000 enregistrements, $c_2 = \sigma_{\text{quantity} \geq 3}$ 500 enregistrements et $c_1 \wedge c_2$ 100 enregistrements. De plus en pipelining la jointure page à page attend de remplir une cellule du buffer/cache (l'équivalent d'une page) pour chaque itération. Calculez et comparez le temps d'exécution des plans suivants :



(a)



(b)

Solution

Coût des opérations communes : Une partie des opérations dans les deux plans d'exécution seront similaires :

- **La sélection $\sigma_{quantity \geq 3}(stock)$ (C_{c_1}) :** Il faut $1000E/S$ (écriture et lecture de page) car il y a $\frac{1.000.000}{1.000} = 1.000$ pages dans la relation stock. Attention on ne décompte pas l'écriture de la relation intermédiaire qui ne sera effectuée qu'en cas de matérialisation du résultat.
- **La sélection $\sigma_{publication_year \geq 2020}(C_{c_2})$:** Il faut aussi $1000E/S$ car il y a $\frac{250.000}{250} = 1.000$ pages.
- **La jointure sur "library" et le sous arbre droit ($C_{\bowtie_{lid}}$) :** En effet cette opération est commune, pour connaître le nombre d'E/S associé il faut d'abord calculer le nombre de pages produites dans les deux sous arbres :
 - Le sous arbre gauche est une feuille correspondant à la relation *library*. Il y a 55 bibliothèques, toutes peuvent être stockées dans une unique page.
 - Le sous arbre droit correspond à la jointure sur *bid*, on peut estimer une borne supérieure du nombre d'enregistrement. On sait d'après l'énoncé que $\sigma_{c_1 \wedge c_2}(book \bowtie_{bid} stock)$ produit 100 enregistrements. Cette dernière expression est équivalente à $\sigma_{publication_year \geq 2020}(book) \bowtie_{bid} \sigma_{quantity \geq 3}(stock)$, impliquant donc que l'expression du sous arbre droit produit au plus 100 enregistrements. Il nous faut néanmoins le résultat en terme de page, pour estimer le nombre de page nous pouvons d'abord estimer la taille d'un enregistrement (en page). Il s'agit de la somme des tailles enregistrements des relations jointes. On sait que taille d'un dans *book* occupe $\frac{1}{250}$ pages, pour la relation *stock* un enregistrement nécessite $\frac{1}{1000}$ pages. Ainsi un enregistrement issu de la jointure nécessite :

$$\frac{1}{250} + \frac{1}{1000} = \frac{5}{1000} \text{ pages}$$

Pour stocker 100 lignes nous aurions besoins de $\lceil \frac{5}{1000} \times 100 \rceil = 1$ page.

Donc le nombre d'E/S pour la jointure avec *library* est $1 + 1 \times 1 = 2$.

- **Coût de la matérialisation de la jointure \bowtie_{bid} ($C_{M(\bowtie_{bid})}$)**. Comme on a matérialisation de la jointure et que d'après la section précédente le résultat de la jointure peut être contenu sur une page alors on ajoute une écriture.

Donc il faut 1 E/S pour matérialiser le résultat de \bowtie_{bid}

Plan d'exécution (a)

- **Matérialisation de c_2 ($C_{M(c_2)}$)**. Le nombre d'enregistrements résultant de l'évaluation de c_2 est estimé à 500 enregistrements, une page peut contenir 1000 enregistrements de stock. Ainsi une page est nécessaire pour matérialiser c_2 .

Donc il faut 1 E/S pour matérialiser le résultat de c_2

- **Coût de la jointure \bowtie_{bid} ($C_{\bowtie_{bid}}$)**. L'exécution est effectuée en pipelining donc il n'est pas nécessaire d'ouvrir (depuis le disque) les enregistrements de c_1 . Ici on aura donc 20 pages ouvertes car 5000 enregistrements sont issus de l'évaluation de c_2 ce qui correspond à $\frac{5000}{250} = 20$ pages (avant de commencer la boucle interne on attend 250 enregistrements de c_1) ($|\sigma_{publication_year \geq 2020}(book)| \times |\sigma_{publication_year \geq 2020}|$).

Donc il faut 20 E/S pour évaluer la jointure \bowtie_{bid}

Solution

Le nombre d'E/S total est donc :

$$\begin{aligned} C_{c_1} + C_{c_2} + C_{M(c_2)} + C_{\bowtie_{bid}} + C_{M(\bowtie_{bid})} + C_{\bowtie_{lid}} + C_{\pi} \\ = 1000 + 1000 + 1 + 20 + 1 + 2 + 0 = \underline{\underline{2024}} \text{ E/S} \end{aligned}$$

Plan d'exécution (b)

- **Matérialisation de c_1 .** Le nombre d'enregistrements résultant de l'évaluation c_1 est estimé à 5000 enregistrements, 20 pages sont nécessaires pour stocker le résultat.

Donc il faut 20 E/S pour matérialiser le résultat de c_2

- **Coût de la jointure.** Nous sommes en pipelining donc il n'est pas nécessaire de compter le parcours du résultat de c_2 . Ici on aura donc 20 pages ouvertes ($|c_1| \times |c_2|$) .

Donc il faut 20 E/S pour évaluer la jointure \bowtie_{bid}

Le nombre d'E/S total est donc :

$$\begin{aligned} C_{c_1} + C_{M(c_1)} + C_{c_2} + C_{\bowtie_{bid}} + C_{M(\bowtie_{bid})} + C_{\bowtie_{lid}} \\ = 1000 + 20 + 1000 + 20 + 1 + 2 = \underline{\underline{2043}} \text{ E/S} \end{aligned}$$

conclusion : Le plan (a) est légèrement plus efficace

Question n°3 : Si maintenant on matérialise tous les résultats des conditions, quel est le coût en terme d'E/S des deux plans de la question précédente ?

Solution

Deux choses vont différer de la question précédente, d'une part, on va calculer le coût des matérialisations de c_1 et c_2 pour les deux arbres, ce qui pour les sous-plans mono-relation implique le même coût en terme d'E/S. En revanche, l'ordre des jointures diffère, car dans le cas du plan (a) c'est $M(c_1)$ qui est en externe alors que dans le plan (b) c'est $M(c_2)$. Ainsi le coût n'est pas forcément équivalent dans les deux plans.

Plan d'exécution (a).

- **Le coût de la jointure sur bid** est $|M(c_1)| + |M(c_1)| \times |M(c_2)|$ (respectivement la taille en page de la table matérialisée pour la condition c_1 et la condition c_2). D'après la réponse à la question précédente $|M(c_1)| = 20$ et $|M(c_2)| = 1$ donc $20 + 20 \times 1 = 40$
Donc il faut 40 E/S pour évaluer $C_{M(c_1)\bowtie_{bid} M(c_2)}$ (pour le plan (a))

Le nombre d'E/S total est donc :

$$\begin{aligned} C_{c_1} + C_{M(c_1)} + C_{c_2} + C_{M(c_2)} + C_{M(c_1)\bowtie_{bid} M(c_2)} + C_{M(\bowtie_{bid})} + C_{\bowtie_{lid}} \\ = 1000 + 20 + 1000 + 1 + 40 + 1 + 2 = \underline{2064} \text{ E/S} \end{aligned}$$

Plan d'exécution (b).

- **Le coût de la jointure sur bid** est $|M(c_2)| + |M(c_2)| \times |M(c_1)|$ (respectivement la taille en page de la table matérialisée pour la condition c_2 et la condition c_1). D'après la réponse à la question précédente $|M(c_1)| = 20$ et $|M(c_2)| = 1$ donc $1 + 1 \times 20 = 21$
Donc il faut 21 E/S pour évaluer $C_{M(c_2)\bowtie_{bid} M(c_1)}$ (pour le plan (b))

Le nombre d'E/S total est donc :

$$\begin{aligned} C_{c_1} + C_{M(c_1)} + C_{c_2} + C_{M(c_2)} + C_{M(c_2)\bowtie_{bid} M(c_1)} + C_{M(\bowtie_{bid})} + C_{\bowtie_{lid}} \\ = 1000 + 20 + 1000 + 1 + 20 + 1 + 2 = \underline{2044} \text{ E/S} \end{aligned}$$

conclusion : Le plan (b) est légèrement plus efficace

Question n°4 : Même question que la précédente, mais cette fois-ci le cache disponible pour la requête contient 100 cellules et l'on considère donc des jointures par paquets de pages.

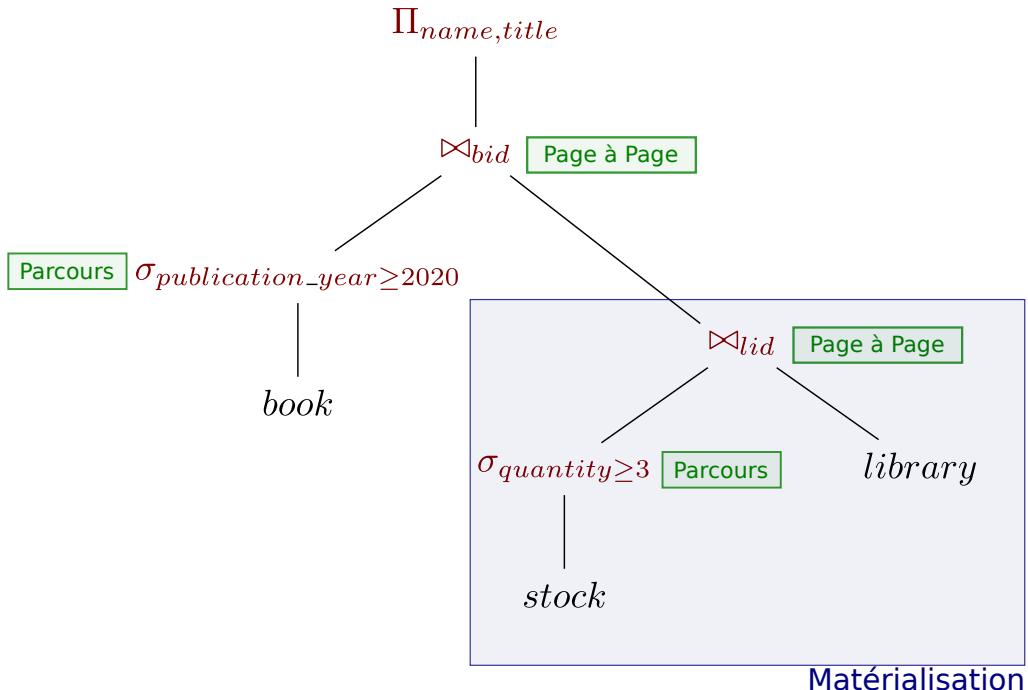
Solution

Comme les tables/relations peuvent être stockées dans le cache (+2 cellules disponibles, une pour les pages de la boucle interne, une pour le stockage du résultat) le calcul de la jointure n'effectue qu'en $C_{M(c_2)} + C_{M(c_1)}$. Ainsi peu importe l'ordre, il faudra effectuer 21 E/S.

Le coût des deux approches est donc similaire, puisque mis à part la jointure les plans sont identiques

Question n°5 : Dans les deux cas précédents, deux matérialisations sont nécessaires, proposez un plan d'exécution ne nécessitant qu'une seule matérialisation en gardant les méthodes d'évaluation des opérateurs de la question 3. Calculez le nombre d'E/S si 3 cellules sont disponibles dans le cache.

Solution



- **Sélection $\sigma_{quantity \geq 3}$** : Comme précédemment nous parcourons la table *stock* de 1000 pages. **nous effectuons donc 1000 lectures**
- **Sélection $\sigma_{publication_year \geq 2020}$** : Comme précédemment nous parcourons la table *book* de 1000 pages. **Nous effectuons donc 1000 lectures**
- **Jointure page à page \bowtie_{lid}** : On remarquera d'abord que la relation *library* est stockée sur une unique page n'ayant que 55 entrées, par ailleurs on considère la méthode de pipelining pour la sous requête gauche, ainsi on ne fait pas d'ouverture depuis le disque d'éléments de la sous-requête gauche. Enfin, l'équivalent d'une seule page sera produit par le sous-arbre gauche (500 entrées produites) donc on parcours 1 fois la pages de *library*. **Nous effectuons donc une seule lecture de page (la page où sont stockés les bibliothèques).**
- **Matérialisation de la jointure \bowtie_{lid}** : *lid* est une clef primaire pour *library* et une clef étrangère pour la relation *stock*. Ainsi, chaque ligne issues de $\sigma_{quantity \geq 3}(stock)$ correspond à une ligne de *library*. Donc 500 enregistrements seront issues de la jointure. On estime la taille d'un enregistrement issue de la jointure en page par :

$$\begin{aligned}
 & \text{taille_nuplet_stock} + \text{taille_nuplet_library} \\
 &= \\
 & \frac{1}{500} + \frac{1}{1000} = \frac{3}{1000}
 \end{aligned}$$

Comme nous avons 500 enregistrements, nous aurons $\frac{3}{1000} \times 500 = 1,5$ pages, donc 2 pages écrites. **Nous effectuons donc deux écritures**

- **Jointure \bowtie_{bid}** : On fait une jointure entre une sous requête produisant 20 pages en pipelining (sous-arbre gauche) et une sous requête matérialisée de 2 pages. Ici on lira 20×2 pages. **Nous effectuons donc 40 lectures**
l'évaluation de ce plan nécessite $2000 + 1 + 2 + 40 = 2043$

Question n°6 : On se propose pour le plan d'exécution précédent d'utiliser la sélection via les index B+ disponibles. Donner le coût minimum possible en utilisant ou non ces index (les

fichiers de données ne sont pas triés selon ces index).

Solution

- $c_1 (\sigma_{publication_year \geq 2020})$: L'utilisation d'un index est plus coûteux si le fichier est non trié, car il y a un risque d'ouvrir 5000 pages (alors que le parcours ne coûterait que 1000 pages).
- $c_2 (\sigma_{quantity \geq 3})$: Le coût en terme d' E/S est (dans le pire cas) $3 + 1 + 500 = 504$ (on fait une recherche de l'élément → 3 E/S, puis on parcourt la liste chaîné dans le pire cas ont lit une page supplémentaire comme les pages contenant les entrées peuvent contenir 2000 entrées puis pour chaque entrées on lit la page contenant les données).

Une erreur de ± 1 est accepté

Donc $1504 + 1 + 2 + 40 = 1547$ E/S