

Bases de Données Avancées : Concurrence - 2PL

Thomas Gerald

March 18, 2026

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

Utilisation de la sérialisation

- **les algorithmes dits " optimistes "** surveillent les conflits en intervenant au minimum sur le déroulement des transactions, et rejettent les exécutions non-sérialisables

Utilisation de la sérialisation

- **les algorithmes dits " optimistes "** surveillent les conflits en intervenant au minimum sur le déroulement des transactions, et rejettent les exécutions non-sérialisables
- **les algorithmes dits " pessimistes "** effectuent des verrouillages et blocages pour tenter de prévenir l'apparition d'exécutions non-sérialisables

Utilisation de la sérialisation

- **les algorithmes dits " optimistes "** surveillent les conflits en intervenant au minimum sur le déroulement des transactions, et rejettent les exécutions non-sérialisables
- **les algorithmes dits " pessimistes "** effectuent des verrouillages et blocages pour tenter de prévenir l'apparition d'exécutions non-sérialisables

→ "Géré" par le contrôleur de concurrence

Les algorithmes pessimistes, objectifs :

Garantir la validité de l'exécution (exécution sérialisable) sans connaissance de l'intégralité des exécutions

Les algorithmes pessimistes, objectifs :

Garantir la validité de l'exécution (exécution sérialisable) sans connaissance de l'intégralité des exécutions

→ Empêcher l'apparition d'exécution non sérialisables

Les algorithmes pessimistes, objectifs :

Garantir la validité de l'exécution (exécution sérialisable) sans connaissance de l'intégralité des exécutions

→ Empêcher l'apparition d'exécution non sérialisables

- Empêcher l'accès en lecture à des données utilisés par une autre transaction ?

Les algorithmes pessimistes, objectifs :

Garantir la validité de l'exécution (exécution sérialisable) sans connaissance de l'intégralité des exécutions

→ Empêcher l'apparition d'exécution non sérialisables

- Empêcher l'accès en lecture à des données utilisés par une autre transaction ?
- Empêcher l'accès en écriture à des données utilisés par une autre transaction ?

Les algorithmes pessimistes, objectifs :

Garantir la validité de l'exécution (exécution sérialisable) sans connaissance de l'intégralité des exécutions

→ Empêcher l'apparition d'exécution non sérialisables

- Empêcher l'accès en lecture à des données utilisés par une autre transaction ?
- Empêcher l'accès en écriture à des données utilisés par une autre transaction ?

→  **En pratique utilisation de verrous sur les données**

Dans une transaction

À chaque demande d'accès (avant l'accès en écriture ou lecture) d'une donnée :

- Si la donnée est verrouillé → met en pause la transaction
- Si la donnée n'est pas verrouillé → retourne/écrit la données et verrouille la données

Transaction : Two phase locking (2PL)

Two phases locking

L'approche de "two phase locking" verrouillage en deux phase utilise :

- Des verrous partageable (en lecture)
- Des verrous exclusifs en écriture (ou lecture et écriture)

Transaction : Two phase locking (2PL)

Two phases locking

L'approche de "two phase locking" verrouillage en deux phase utilise :

- Des verrous partageable (en lecture)
- Des verrous exclusifs en écriture (ou lecture et écriture)

Notation

Transaction : Two phase locking (2PL)

Two phases locking

L'approche de "two phase locking" verrouillage en deux phase utilise :

- Des verrous partageable (en lecture)
- Des verrous exclusifs en écriture (ou lecture et écriture)

Notation

- $LR^T(A)$ la transaction T demande un verrou partageable (lecture) sur A

Transaction : Two phase locking (2PL)

Two phases locking

L'approche de "two phase locking" verrouillage en deux phase utilise :

- Des verrous partageable (en lecture)
- Des verrous exclusifs en écriture (ou lecture et écriture)

Notation

- $LR^T(A)$ la transaction T demande un verrou partageable (lecture) sur A
- $LW^T(A)$ la transaction T demande un verrou exclusif (écriture) sur A

Transaction : Two phase locking (2PL)

Two phases locking

L'approche de "two phase locking" verrouillage en deux phase utilise :

- Des verrous partageable (en lecture)
- Des verrous exclusifs en écriture (ou lecture et écriture)

Notation

- $LR^T(A)$ la transaction T demande un verrou partageable (lecture) sur A
- $LW^T(A)$ la transaction T demande un verrou exclusif (écriture) sur A
- $UR^T(A)$ la transaction T libère un verrou partageable (lecture) sur A

Transaction : Two phase locking (2PL)

Two phases locking

L'approche de "two phase locking" verrouillage en deux phase utilise :

- Des verrous partageable (en lecture)
- Des verrous exclusifs en écriture (ou lecture et écriture)

Notation

- $LR^T(A)$ la transaction T demande un verrou partageable (lecture) sur A
- $LW^T(A)$ la transaction T demande un verrou exclusif (écriture) sur A
- $UR^T(A)$ la transaction T libère un verrou partageable (lecture) sur A
- $UW^T(A)$ la transaction T libère un verrou exclusif (écriture) sur A

Transaction : Two phase locking (2PL)

Two phases locking

L'approche de "two phase locking" verrouillage en deux phase utilise :

- Des verrous partageable (en lecture)
- Des verrous exclusifs en écriture (ou lecture et écriture)

Notation

- $LR^T(A)$ la transaction T demande un verrou partageable (lecture) sur A
- $LW^T(A)$ la transaction T demande un verrou exclusif (écriture) sur A
- $UR^T(A)$ la transaction T libère un verrou partageable (lecture) sur A
- $UW^T(A)$ la transaction T libère un verrou exclusif (écriture) sur A
- $U^T(A)$ la transaction T libère **tous** les verrous sur A

Transaction : Two phase locking (2PL)

Verrou partageable

Transaction : Two phase locking (2PL)

Verrou partageable

- **Avant** la première lecture de A par T
- R(A) si T à **au moins** un verrou partageable sur A

→ $LR^T(A)$

Transaction : Two phase locking (2PL)

Verrou partageable

- **Avant** la première lecture de A par T $\rightarrow LR^T(A)$
- R(A) si T à **au moins** un verrou partageable sur A

Verrou exclusif

Transaction : Two phase locking (2PL)

Verrou partageable

- **Avant** la première lecture de A par T $\rightarrow LR^T(A)$
- R(A) si T à **au moins** un verrou partageable sur A

Verrou exclusif

- **Avant** la première écriture de A par T $\rightarrow LW^T(A)$
- W(A) si T à au moins un verrou exclusif sur A

Transaction : Two phase locking (2PL)

Verrou partageable

- **Avant** la première lecture de A par T $\rightarrow LR^T(A)$
- R(A) si T à **au moins** un verrou partageable sur A

Verrou exclusif

- **Avant** la première écriture de A par T $\rightarrow LW^T(A)$
- W(A) si T à au moins un verrou exclusif sur A

⚠ Un unique verrou exclusif par “donnée”

Acceptation de l'acquisition des verrous

Acceptation de l'acquisition des verrous

- Un verrou partageable sur A \rightarrow si aucun verrou exclusif sur A

Transaction : Two phase locking (2PL)

Acceptation de l'acquisition des verrous

- Un verrou partageable sur A → si aucun verrou exclusif sur A
- Un verrou exclusif sur A → si aucun verrou sur A (d'une autre transaction)

→ Sinon, on met la transaction en pause

→ Quand le verrou bloquant est déverrouillé on reprend la transaction (là où l'on l'avait laissée)

Transaction : Two phase locking (2PL)

Two Phase Locking ?

Transaction : Two phase locking (2PL)

Two Phase Locking ?

Verrouillage en deux étapes pour chaque transaction

Transaction : Two phase locking (2PL)

Two Phase Locking ?

Verrouillage en deux étapes pour chaque transaction

1. Une première phase d'acquisition des verrous (**Expanding phase**) (Le contrôleur accepte ou refuse)

Transaction : Two phase locking (2PL)

Two Phase Locking ?

Verrouillage en deux étapes pour chaque transaction

1. Une première phase d'acquisition des verrous (**Expanding phase**) (Le contrôleur accepte ou refuse)
2. Une seconde phase de libération des verrous (**Shrinking phase**)

Transaction : Two phase locking (2PL)

Two Phase Locking ?

Verrouillage en deux étapes pour chaque transaction

1. Une première phase d'acquisition des verrous (**Expanding phase**) (Le contrôleur accepte ou refuse)
2. Une seconde phase de libération des verrous (**Shrinking phase**)

⚠️ Après libération d'un verrou il n'est plus possible d'en acquérir un nouveau

⚠️ Les deux étapes sont distinctes

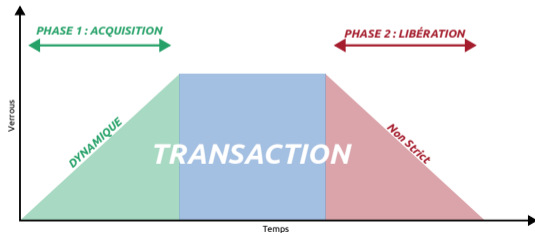
Transaction : Two phase locking (2PL)

Two Phase Locking ?

Verrouillage en deux étapes pour chaque transaction

1. Une première phase d'acquisition des verrous (**Expanding phase**) (Le contrôleur accepte ou refuse)
2. Une seconde phase de libération des verrous (**Shrinking phase**)

- ⚠️ Après libération d'un verrou il n'est plus possible d'en acquérir un nouveau
- ⚠️ Les deux étapes sont distinctes

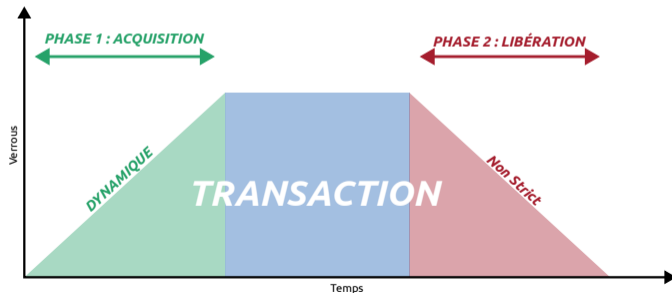


Transaction : Two phase locking (2PL)

Transaction T_1 : $R^{T_1}(A) - W^{T_1}(A) - R^{T_1}(B) - W^{T_1}(B) - C^{T_1}$

Acquisition Dynamique, Libération Non Strict

La transaction est libre d'acquérir des verrous après avoir effectuée des opérations



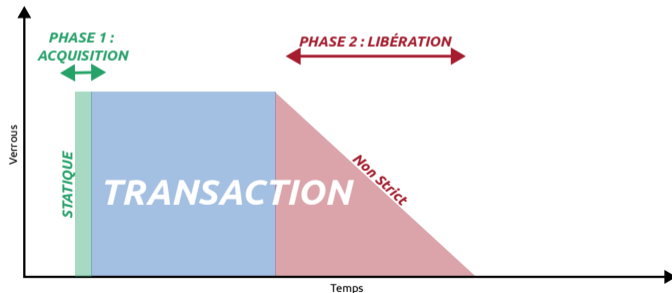
| temps | T_1 |
|-------|---------------|
| 1 | $LR^{T_1}(A)$ |
| 2 | $R^{T_1}(A)$ |
| 3 | $LW^{T_1}(A)$ |
| 4 | $W^{T_1}(A)$ |
| 5 | $LR^{T_1}(B)$ |
| 6 | $R^{T_1}(B)$ |
| 7 | $LW^{T_1}(B)$ |
| 8 | $U^{T_1}(A)$ |
| 9 | $W^{T_1}(B)$ |
| 10 | $U^{T_1}(B)$ |
| 11 | C^{T_1} |

Transaction : Two phase locking (2PL)

Transaction T_1 : $R^{T_1}(A) - W^{T_1}(A) - R^{T_1}(B) - W^{T_1}(B) - C^{T_1}$

Acquisition statique

Tous les verrous sont posés **au début** d'une transaction



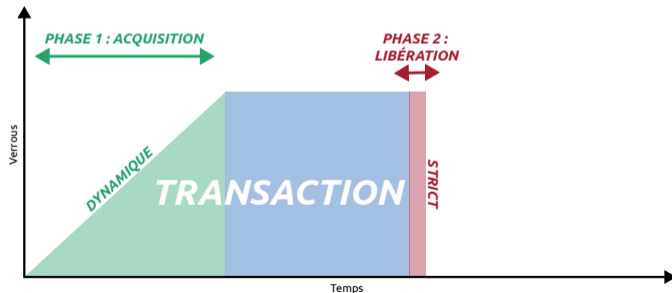
| temps | T_1 |
|-------|---------------|
| 1 | $RW^{T_1}(A)$ |
| 2 | $RW^{T_1}(B)$ |
| 3 | $R^{T_1}(A)$ |
| 4 | $W^{T_1}(A)$ |
| 5 | $R^{T_1}(B)$ |
| 6 | $U^{T_1}(A)$ |
| 7 | $W^{T_1}(B)$ |
| 8 | $U^{T_1}(B)$ |
| 9 | C^{T_1} |

Transaction : Two phase locking (2PL)

Transaction T_1 : $R^{T_1}(A) - W^{T_1}(A) - R^{T_1}(B) - W^{T_1}(B) - C^{T_1}$

Libération strict

Tous les verrous sont relâchés à **la fin** de la transaction
→ Annulation possible de la transaction (sans cascade)



| temps | T_1 |
|-------|-----------------|
| 1 | $LR^{T_1}(A)$ |
| 2 | $R^{T_1}(A)$ |
| 3 | $LW^{T_1}(A)$ |
| 4 | $W^{T_1}(A)$ |
| 5 | $LR^{T_1}(B)$ |
| 6 | $R^{T_1}(B)$ |
| 7 | $LW^{T_1}(B)$ |
| 8 | $W^{T_1}(B)$ |
| 9 | C^{T_1} |
| 10 | $U^{T_1}(A, B)$ |

Transaction : Two phase locking (2PL)

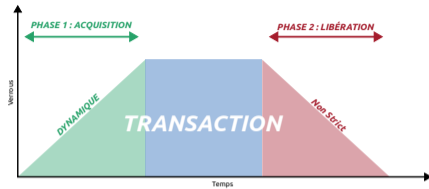


Figure 1: 2PL

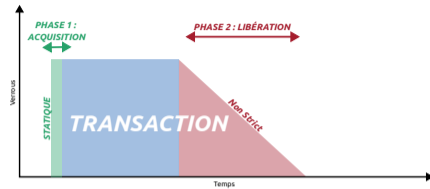


Figure 2: 2PL statique

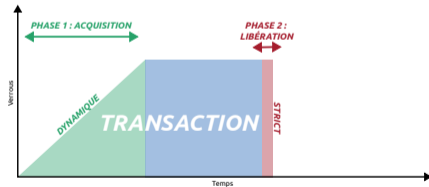


Figure 3: 2PL strict (S2PL)

Exécution réelle ?

Si l'on considère les transactions T_1 ,
 T_2 et l'exécution suivante :

| Temps | T_1 | T_2 |
|-------|--------|--------|
| 1 | $R(A)$ | |
| 2 | $W(A)$ | |
| 3 | | $R(A)$ |
| 4 | | $W(A)$ |
| 5 | | $W(B)$ |
| 6 | $W(B)$ | |

Transaction : Two Phase Locking

Si l'on considère les transactions T_1 , T_2 et l'exécution suivante :

| Temps | T_1 | T_2 |
|-------|--------|--------|
| 1 | $R(A)$ | |
| 2 | $W(A)$ | |
| 3 | | $R(A)$ |
| 4 | | $W(A)$ |
| 5 | | $W(B)$ |
| 6 | $W(B)$ | |

Exécution réelle ?

| Temps | T_1 | T_2 | |
|-------|---------|-------|--|
| 1 | $LW(A)$ | | |
| 2 | $R(A)$ | | |
| 3 | $W(A)$ | | |

Transaction : Two Phase Locking

Si l'on considère les transactions T_1 , T_2 et l'exécution suivante :

| Temps | T_1 | T_2 |
|-------|--------|--------|
| 1 | $R(A)$ | |
| 2 | $W(A)$ | |
| 3 | | $R(A)$ |
| 4 | | $W(A)$ |
| 5 | | $W(B)$ |
| 6 | $W(B)$ | |

Exécution réelle ?

| Temps | T_1 | T_2 | |
|-------|---------|---------|--|
| 1 | $LW(A)$ | | |
| 2 | $R(A)$ | | |
| 3 | $W(A)$ | | |
| 4 | | $LW(A)$ | ⚠ A verrouillé, T_2 en attente |

Transaction : Two Phase Locking

Si l'on considère les transactions T_1 , T_2 et l'exécution suivante :

| Temps | T_1 | T_2 |
|-------|--------|--------|
| 1 | $R(A)$ | |
| 2 | $W(A)$ | |
| 3 | | $R(A)$ |
| 4 | | $W(A)$ |
| 5 | | $W(B)$ |
| 6 | $W(B)$ | |

Exécution réelle ?

| Temps | T_1 | T_2 | |
|-------|---------|---------|--|
| 1 | $LW(A)$ | | |
| 2 | $R(A)$ | | |
| 3 | $W(A)$ | | |
| 4 | | $LW(A)$ | ⚠ A verrouillé, T_2 en attente |
| 4 | $LW(B)$ | | ✔ T_1 poursuit |

Transaction : Two Phase Locking

Si l'on considère les transactions T_1 , T_2 et l'exécution suivante :

| Temps | T_1 | T_2 |
|-------|--------|--------|
| 1 | $R(A)$ | |
| 2 | $W(A)$ | |
| 3 | | $R(A)$ |
| 4 | | $W(A)$ |
| 5 | | $W(B)$ |
| 6 | $W(B)$ | |

Exécution réelle ?

| Temps | T_1 | T_2 | |
|-------|---------|---------|------------------------------------|
| 1 | $LW(A)$ | | |
| 2 | $R(A)$ | | |
| 3 | $W(A)$ | | |
| 4 | | $LW(A)$ | ⚠ A verrouillé, T_2 en attente |
| 4 | $LW(B)$ | | ✔ T_1 poursuit |
| 5 | $U(A)$ | | ✔ A est libéré |

Transaction : Two Phase Locking

Si l'on considère les transactions T_1 , T_2 et l'exécution suivante :

| Temps | T_1 | T_2 |
|-------|--------|--------|
| 1 | $R(A)$ | |
| 2 | $W(A)$ | |
| 3 | | $R(A)$ |
| 4 | | $W(A)$ |
| 5 | | $W(B)$ |
| 6 | $W(B)$ | |

Exécution réelle ?

| Temps | T_1 | T_2 | |
|-------|--------|--------------|----------------------------------|
| 1 | LW(A) | | |
| 2 | $R(A)$ | | |
| 3 | $W(A)$ | | |
| 4 | | <u>LW(A)</u> | ⚠ A verrouillé, T_2 en attente |
| 4 | LW(B) | | ✔ T_1 poursuit |
| 5 | U(A) | | ✔ A est libéré |
| 6 | | LW(A) | ✔ reprendre execution T_2 |

Transaction : Two Phase Locking

Si l'on considère les transactions T_1 , T_2 et l'exécution suivante :

| Temps | T_1 | T_2 |
|-------|--------|--------|
| 1 | $R(A)$ | |
| 2 | $W(A)$ | |
| 3 | | $R(A)$ |
| 4 | | $W(A)$ |
| 5 | | $W(B)$ |
| 6 | $W(B)$ | |

Exécution réelle ?

| Temps | T_1 | T_2 | |
|-------|---------|---------|------------------------------------|
| 1 | $LW(A)$ | | |
| 2 | $R(A)$ | | |
| 3 | $W(A)$ | | |
| 4 | | $LW(A)$ | ⚠ A verrouillé, T_2 en attente |
| 4 | $LW(B)$ | | ✔ T_1 poursuit |
| 5 | $U(A)$ | | ✔ A est libéré |
| 6 | | $LW(A)$ | ✔ reprendre execution T_2 |
| 7 | | $R(A)$ | |
| 8 | | $W(A)$ | |

Transaction : Two Phase Locking

Si l'on considère les transactions T_1 , T_2 et l'exécution suivante :

| Temps | T_1 | T_2 |
|-------|--------|--------|
| 1 | $R(A)$ | |
| 2 | $W(A)$ | |
| 3 | | $R(A)$ |
| 4 | | $W(A)$ |
| 5 | | $W(B)$ |
| 6 | $W(B)$ | |

Exécution réelle ?

| Temps | T_1 | T_2 | |
|-------|---------|---------------------------|------------------------------------|
| 1 | $LW(A)$ | | |
| 2 | $R(A)$ | | |
| 3 | $W(A)$ | | |
| 4 | | <u>$LW(A)$</u> | ⚠ A verrouillé, T_2 en attente |
| 4 | $LW(B)$ | | ✔ T_1 poursuit |
| 5 | $U(A)$ | | ✔ A est libéré |
| 6 | | $LW(A)$ | ✔ reprendre execution T_2 |
| 7 | | $R(A)$ | |
| 8 | | $W(A)$ | |
| 9 | | <u>$LW(B)$</u> | ⚠ B verrouillé |

Transaction : Two Phase Locking

Si l'on considère les transactions T_1 , T_2 et l'exécution suivante :

| Temps | T_1 | T_2 |
|-------|--------|--------|
| 1 | $R(A)$ | |
| 2 | $W(A)$ | |
| 3 | | $R(A)$ |
| 4 | | $W(A)$ |
| 5 | | $W(B)$ |
| 6 | $W(B)$ | |

Exécution réelle ?

| Temps | T_1 | T_2 | |
|-------|--------|--------------|----------------------------------|
| 1 | LW(A) | | |
| 2 | $R(A)$ | | |
| 3 | $W(A)$ | | |
| 4 | | <u>LW(A)</u> | ⚠ A verrouillé, T_2 en attente |
| 4 | LW(B) | | ✔ T_1 poursuit |
| 5 | U(A) | | ✔ A est libéré |
| 6 | | LW(A) | ✔ reprendre execution T_2 |
| 7 | | $R(A)$ | |
| 8 | | $W(A)$ | |
| 9 | | <u>LW(B)</u> | ⚠ B verrouillé |
| 9 | $W(B)$ | | |
| 10 | U(B) | | ✔ B libéré |

Transaction : Two Phase Locking

Si l'on considère les transactions T_1 , T_2 et l'exécution suivante :

| Temps | T_1 | T_2 |
|-------|--------|--------|
| 1 | $R(A)$ | |
| 2 | $W(A)$ | |
| 3 | | $R(A)$ |
| 4 | | $W(A)$ |
| 5 | | $W(B)$ |
| 6 | $W(B)$ | |

Exécution réelle ?

| Temps | T_1 | T_2 | |
|-------|--------|--------------|----------------------------------|
| 1 | LW(A) | | |
| 2 | $R(A)$ | | |
| 3 | $W(A)$ | | |
| 4 | | <u>LW(A)</u> | ⚠ A verrouillé, T_2 en attente |
| 4 | LW(B) | | ✔ T_1 poursuit |
| 5 | U(A) | | ✔ A est libéré |
| 6 | | LW(A) | ✔ reprendre execution T_2 |
| 7 | | $R(A)$ | |
| 8 | | $W(A)$ | |
| 9 | | <u>LW(B)</u> | ⚠ B verrouillé |
| 9 | $W(B)$ | | |
| 10 | U(B) | | ✔ B libéré |
| 11 | | LW(B) | ✔ reprendre execution T_2 |

Transaction : Two Phase Locking

Si l'on considère les transactions T_1 , T_2 et l'exécution suivante :

| Temps | T_1 | T_2 |
|-------|--------|--------|
| 1 | $R(A)$ | |
| 2 | $W(A)$ | |
| 3 | | $R(A)$ |
| 4 | | $W(A)$ |
| 5 | | $W(B)$ |
| 6 | $W(B)$ | |

Exécution réelle ?

| Temps | T_1 | T_2 | |
|-------|--------|--------------|----------------------------------|
| 1 | LW(A) | | |
| 2 | $R(A)$ | | |
| 3 | $W(A)$ | | |
| 4 | | <u>LW(A)</u> | ⚠ A verrouillé, T_2 en attente |
| 4 | LW(B) | | ✔ T_1 poursuit |
| 5 | U(A) | | ✔ A est libéré |
| 6 | | LW(A) | ✔ reprendre execution T_2 |
| 7 | | $R(A)$ | |
| 8 | | $W(A)$ | |
| 9 | | <u>LW(B)</u> | ⚠ B verrouillé |
| 9 | $W(B)$ | | |
| 10 | U(B) | | ✔ B libéré |
| 11 | | LW(B) | ✔ reprendre execution T_2 |
| 12 | | $W(B)$ | |

Transaction : Two Phase Locking

Si l'on considère les transactions T_1 , T_2 et l'exécution suivante :

| Temps | T_1 | T_2 |
|-------|--------|--------|
| 1 | $R(A)$ | |
| 2 | $W(A)$ | |
| 3 | | $R(A)$ |
| 4 | | $W(A)$ |
| 5 | | $W(B)$ |
| 6 | $W(B)$ | |

Exécution réelle ?

| Temps | T_1 | T_2 | |
|-------|--------|--------------|----------------------------------|
| 1 | LW(A) | | |
| 2 | $R(A)$ | | |
| 3 | $W(A)$ | | |
| 4 | | <u>LW(A)</u> | ⚠ A verrouillé, T_2 en attente |
| 4 | LW(B) | | ✔ T_1 poursuit |
| 5 | U(A) | | ✔ A est libéré |
| 6 | | LW(A) | ✔ reprendre execution T_2 |
| 7 | | $R(A)$ | |
| 8 | | $W(A)$ | |
| 9 | | <u>LW(B)</u> | ⚠ B verrouillé |
| 9 | $W(B)$ | | |
| 10 | U(B) | | ✔ B libéré |
| 11 | | LW(B) | ✔ reprendre execution T_2 |
| 12 | | $W(B)$ | |
| 13 | | U(A, B) | |

Transaction : Two Phase Locking

Si l'on considère les transactions T_1 , T_2 et l'exécution suivante :

| Temps | T_1 | T_2 |
|-------|--------|--------|
| 1 | $R(A)$ | |
| 2 | $W(A)$ | |
| 3 | | $R(B)$ |
| 4 | | $W(B)$ |
| 5 | $W(B)$ | |
| 6 | | $W(A)$ |

Transaction : Two Phase Locking

Exécution réelle ?

Si l'on considère les transactions T_1 , T_2 et l'exécution suivante :

| Temps | T_1 | T_2 |
|-------|--------|--------|
| 1 | $R(A)$ | |
| 2 | $W(A)$ | |
| 3 | | $R(B)$ |
| 4 | | $W(B)$ |
| 5 | $W(B)$ | |
| 6 | | $W(A)$ |

Transaction : Two Phase Locking

Si l'on considère les transactions T_1 , T_2 et l'exécution suivante :

| Temps | T_1 | T_2 |
|-------|--------|--------|
| 1 | $R(A)$ | |
| 2 | $W(A)$ | |
| 3 | | $R(B)$ |
| 4 | | $W(B)$ |
| 5 | $W(B)$ | |
| 6 | | $W(A)$ |

Exécution réelle ?

| Temps | T_1 | T_2 | |
|-------|---------|-------|--|
| 1 | $LW(A)$ | | |
| 2 | $R(A)$ | | |
| 3 | $W(A)$ | | |

Transaction : Two Phase Locking

Si l'on considère les transactions T_1 , T_2 et l'exécution suivante :

| Temps | T_1 | T_2 |
|-------|--------|--------|
| 1 | $R(A)$ | |
| 2 | $W(A)$ | |
| 3 | | $R(B)$ |
| 4 | | $W(B)$ |
| 5 | $W(B)$ | |
| 6 | | $W(A)$ |

Exécution réelle ?


| Temps | T_1 | T_2 | |
|-------|---------|---------|--|
| 1 | $LW(A)$ | | |
| 2 | $R(A)$ | | |
| 3 | $W(A)$ | | |
| 4 | | $LW(B)$ | |
| 5 | | $R(B)$ | |
| 6 | | $W(B)$ | |

Transaction : Two Phase Locking

Si l'on considère les transactions T_1 , T_2 et l'exécution suivante :

| Temps | T_1 | T_2 |
|-------|--------|--------|
| 1 | $R(A)$ | |
| 2 | $W(A)$ | |
| 3 | | $R(B)$ |
| 4 | | $W(B)$ |
| 5 | $W(B)$ | |
| 6 | | $W(A)$ |

Exécution réelle ?

| Temps | T_1 | T_2 | |
|-------|---------|---------|--|
| 1 | $LW(A)$ | | |
| 2 | $R(A)$ | | |
| 3 | $W(A)$ | | |
| 4 | | $LW(B)$ | |
| 5 | | $R(B)$ | |
| 6 | | $W(B)$ | |
| 7 | $LW(B)$ | |  T_2 a bloqué B |

Transaction : Two Phase Locking

Si l'on considère les transactions T_1 , T_2 et l'exécution suivante :

| Temps | T_1 | T_2 |
|-------|--------|--------|
| 1 | $R(A)$ | |
| 2 | $W(A)$ | |
| 3 | | $R(B)$ |
| 4 | | $W(B)$ |
| 5 | $W(B)$ | |
| 6 | | $W(A)$ |

Exécution réelle ?

| Temps | T_1 | T_2 | |
|-------|---------|---------|--------------------|
| 1 | $LW(A)$ | | |
| 2 | $R(A)$ | | |
| 3 | $W(A)$ | | |
| 4 | | $LW(B)$ | |
| 5 | | $R(B)$ | |
| 6 | | $W(B)$ | |
| 7 | $LW(B)$ | | ⚠ T_2 a bloqué B |
| 7 | | $LW(A)$ | ⚠ T_1 a bloqué A |

Transaction : Two Phase Locking

Si l'on considère les transactions T_1 , T_2 et l'exécution suivante :

| Temps | T_1 | T_2 |
|-------|--------|--------|
| 1 | $R(A)$ | |
| 2 | $W(A)$ | |
| 3 | | $R(B)$ |
| 4 | | $W(B)$ |
| 5 | $W(B)$ | |
| 6 | | $W(A)$ |

Exécution réelle ?

| Temps | T_1 | T_2 | |
|-------|---------------------------|---------------------------|--------------------|
| 1 | $LW(A)$ | | |
| 2 | $R(A)$ | | |
| 3 | $W(A)$ | | |
| 4 | | $LW(B)$ | |
| 5 | | $R(B)$ | |
| 6 | | $W(B)$ | |
| 7 | <u>$LW(B)$</u> | | ⚠ T_2 a bloqué B |
| 7 | | <u>$LW(A)$</u> | ⚠ T_1 a bloqué A |

Transaction : Two Phase Locking

Si l'on considère les transactions T_1 , T_2 et l'exécution suivante :

| Temps | T_1 | T_2 |
|-------|--------|--------|
| 1 | $R(A)$ | |
| 2 | $W(A)$ | |
| 3 | | $R(B)$ |
| 4 | | $W(B)$ |
| 5 | $W(B)$ | |
| 6 | | $W(A)$ |

Exécution réelle ?

| Temps | T_1 | T_2 | |
|-------|---------|---------|--------------------|
| 1 | $LW(A)$ | | |
| 2 | $R(A)$ | | |
| 3 | $W(A)$ | | |
| 4 | | $LW(B)$ | |
| 5 | | $R(B)$ | |
| 6 | | $W(B)$ | |
| 7 | $LW(B)$ | | ⚠ T_2 a bloqué B |
| 7 | | $LW(A)$ | ⚠ T_1 a bloqué A |

⚠ Interblocage (Deadlock)

Transaction : Two Phase Locking

Si l'on considère les transactions T_1 , T_2 et l'exécution suivante :

| Temps | T_1 | T_2 |
|-------|--------|--------|
| 1 | $R(A)$ | |
| 2 | $W(A)$ | |
| 3 | | $R(B)$ |
| 4 | | $W(B)$ |
| 5 | $W(B)$ | |
| 6 | | $W(A)$ |

Exécution réelle ?

| Temps | T_1 | T_2 | |
|-------|---------|---------|--------------------|
| 1 | $LW(A)$ | | |
| 2 | $R(A)$ | | |
| 3 | $W(A)$ | | |
| 4 | | $LW(B)$ | |
| 5 | | $R(B)$ | |
| 6 | | $W(B)$ | |
| 7 | $LW(B)$ | | ⚠ T_2 a bloqué B |
| 7 | | $LW(A)$ | ⚠ T_1 a bloqué A |

⚠ Interblocage (Deadlock)

→ Les transactions se bloquent mutuellement

Transaction : Two Phase Locking

Si l'on considère les transactions T_1 , T_2 et l'exécution suivante mais avec une acquisition des verrous en statique :

| Temps | T_1 | T_2 |
|-------|--------|--------|
| 1 | $R(A)$ | |
| 2 | $W(A)$ | |
| 3 | | $R(B)$ |
| 4 | | $W(B)$ |
| 5 | $W(B)$ | |
| 6 | | $W(A)$ |

Transaction : Two Phase Locking

Exécution réelle ?

Si l'on considère les transactions T_1 , T_2 et l'exécution suivante mais avec une acquisition des verrous en statique :

| Temps | T_1 | T_2 |
|-------|--------|--------|
| 1 | $R(A)$ | |
| 2 | $W(A)$ | |
| 3 | | $R(B)$ |
| 4 | | $W(B)$ |
| 5 | $W(B)$ | |
| 6 | | $W(A)$ |

Transaction : Two Phase Locking

Si l'on considère les transactions T_1 , T_2 et l'exécution suivante mais avec une acquisition des verrous en statique :

| Temps | T_1 | T_2 |
|-------|--------|--------|
| 1 | $R(A)$ | |
| 2 | $W(A)$ | |
| 3 | | $R(B)$ |
| 4 | | $W(B)$ |
| 5 | $W(B)$ | |
| 6 | | $W(A)$ |

Exécution réelle ?

| Temps | T_1 | T_2 | |
|-------|------------|------------|---------------------------|
| 1 | $LW(A, B)$ | | T_1 demande ses verrous |
| 2 | $R(A)$ | | |
| 3 | $W(A)$ | | |
| 4 | $W(B)$ | | |
| 5 | $U(A, B)$ | | |
| 6 | | $LW(A, B)$ | T_2 demande ses verrous |
| 7 | | $R(B)$ | |
| 8 | | $W(B)$ | |
| 9 | | $U(A, B)$ | |

Transaction : Two Phase Locking

Si l'on considère les transactions T_1 , T_2 et l'exécution suivante mais avec une acquisition des verrous en statique :

| Temps | T_1 | T_2 |
|-------|--------|--------|
| 1 | $R(A)$ | |
| 2 | $W(A)$ | |
| 3 | | $R(B)$ |
| 4 | | $W(B)$ |
| 5 | $W(B)$ | |
| 6 | | $W(A)$ |

Exécution réelle ?

| Temps | T_1 | T_2 | |
|-------|------------|------------|---------------------------|
| 1 | $LW(A, B)$ | | T_1 demande ses verrous |
| 2 | $R(A)$ | | |
| 3 | $W(A)$ | | |
| 4 | $W(B)$ | | |
| 5 | $U(A, B)$ | | |
| 6 | | $LW(A, B)$ | T_2 demande ses verrous |
| 7 | | $R(B)$ | |
| 8 | | $W(B)$ | |
| 9 | | $U(A, B)$ | |

✓ Exécutable !!!

→ Mais T_2 a dû attendre la fin de T_1

Interblocage : Quelles conditions ?

Il faut :

- Des verrous exclusifs
- Des attentes circulaires
 - T_1 à verrouillé A_1 et demande l'accès à A_2
 - T_2 à verrouillé A_2 et demande l'accès à A_3
 - T_3 à verrouillé A_3 et demande l'accès à A_4
 - \vdots
 - T_n à verrouillé A_n et demande l'accès à A_1
- Au moins une transaction détient des ressources et en demande d'autre
- Réquisition partiel des ressources

Interblocage : Règle de Havender

Pour éviter les attentes circulaires ?

→ Les ressources sont toujours demandées dans le même ordre

- A_1 toujours demandé avant A_2
- A_2 toujours demandé avant A_3
- \vdots
- A_n toujours demandé avant A_{n+1}

Attentes circulaire possible ?

- T_1 à verrouillé A_1 et demande l'accès à A_2
 - T_2 à verrouillé A_2 et demande l'accès à A_3
 - T_3 à verrouillé A_3 et demande l'accès à A_4
 - \vdots
 - T_n à verrouillé A_n et demande l'accès à A_1
- **⚠ Impossible car T_n à demandé A_n avant A_1**

Interblocage : Règle de Havender

Pour éviter les attentes circulaires ?

→ Les ressources sont toujours demandées dans le même ordre

- A_1 toujours demandé avant A_2
- A_2 toujours demandé avant A_3
- \vdots
- A_n toujours demandé avant A_{n+1}

→ Avoir un ordre total sur les données

→ Connaître à l'avance les ressources utilisées

Transaction : Two Phase Locking

Si l'on considère les transactions T_1 , T_2 et l'exécution suivante :

| Temps | T_1 | T_2 |
|-------|--------|--------|
| 1 | $R(A)$ | |
| 2 | $W(A)$ | |
| 3 | | $R(B)$ |
| 4 | | $W(B)$ |
| 5 | $W(B)$ | |
| 6 | | $W(A)$ |

→ Chaque transaction ouvre A avant d'ouvrir B

Transaction : Two Phase Locking

Exécution réelle ?

Si l'on considère les transactions T_1 , T_2 et l'exécution suivante :

| Temps | T_1 | T_2 |
|-------|--------|--------|
| 1 | $R(A)$ | |
| 2 | $W(A)$ | |
| 3 | | $R(B)$ |
| 4 | | $W(B)$ |
| 5 | $W(B)$ | |
| 6 | | $W(A)$ |

→ Chaque transaction ouvre A avant d'ouvrir B

Transaction : Two Phase Locking

Si l'on considère les transactions T_1 , T_2 et l'exécution suivante :

| Temps | T_1 | T_2 |
|-------|--------|--------|
| 1 | $R(A)$ | |
| 2 | $W(A)$ | |
| 3 | | $R(B)$ |
| 4 | | $W(B)$ |
| 5 | $W(B)$ | |
| 6 | | $W(A)$ |

→ Chaque transaction ouvre A avant d'ouvrir B

Exécution réelle ?

| Temps | T_1 | T_2 | |
|-------|---------|-------|--|
| 1 | $LW(A)$ | | |
| 2 | $R(A)$ | | |
| 3 | $W(A)$ | | |

Transaction : Two Phase Locking

Si l'on considère les transactions T_1 , T_2 et l'exécution suivante :

| Temps | T_1 | T_2 |
|-------|--------|--------|
| 1 | $R(A)$ | |
| 2 | $W(A)$ | |
| 3 | | $R(B)$ |
| 4 | | $W(B)$ |
| 5 | $W(B)$ | |
| 6 | | $W(A)$ |

→ Chaque transaction ouvre A avant d'ouvrir B

Exécution réelle ?

| Temps | T_1 | T_2 | |
|-------|---------|---------|--|
| 1 | $LW(A)$ | | |
| 2 | $R(A)$ | | |
| 3 | $W(A)$ | | |
| 4 | | $LW(A)$ | ⚠ A verrouillé, T_2 en attente |

Transaction : Two Phase Locking

Si l'on considère les transactions T_1 , T_2 et l'exécution suivante :

| Temps | T_1 | T_2 |
|-------|--------|--------|
| 1 | $R(A)$ | |
| 2 | $W(A)$ | |
| 3 | | $R(B)$ |
| 4 | | $W(B)$ |
| 5 | $W(B)$ | |
| 6 | | $W(A)$ |

→ Chaque transaction ouvre A avant d'ouvrir B

Exécution réelle ?

| Temps | T_1 | T_2 | |
|-------|---------|---------|---|
| 1 | $LW(A)$ | | |
| 2 | $R(A)$ | | |
| 3 | $W(A)$ | | |
| 4 | | $LW(A)$ | ▲ A verrouillé, T_2 en attente On poursuit T_1 |
| 4 | $LW(B)$ | | |
| 6 | $W(B)$ | | |

Transaction : Two Phase Locking

Si l'on considère les transactions T_1 , T_2 et l'exécution suivante :

| Temps | T_1 | T_2 |
|-------|--------|--------|
| 1 | $R(A)$ | |
| 2 | $W(A)$ | |
| 3 | | $R(B)$ |
| 4 | | $W(B)$ |
| 5 | $W(B)$ | |
| 6 | | $W(A)$ |

→ Chaque transaction ouvre A avant d'ouvrir B

Exécution réelle ?

| Temps | T_1 | T_2 | |
|-------|-----------|---------|---|
| 1 | $LW(A)$ | | |
| 2 | $R(A)$ | | |
| 3 | $W(A)$ | | |
| 4 | | $LW(A)$ | ▲ A verrouillé, T_2 en attente On poursuit T_1 |
| 4 | $LW(B)$ | | |
| 6 | $W(B)$ | | |
| 7 | $U(A, B)$ | | |

Transaction : Two Phase Locking

Si l'on considère les transactions T_1 , T_2 et l'exécution suivante :

| Temps | T_1 | T_2 |
|-------|--------|--------|
| 1 | $R(A)$ | |
| 2 | $W(A)$ | |
| 3 | | $R(B)$ |
| 4 | | $W(B)$ |
| 5 | $W(B)$ | |
| 6 | | $W(A)$ |

→ Chaque transaction ouvre A avant d'ouvrir B

Exécution réelle ?

| Temps | T_1 | T_2 | |
|-------|-----------|---------|--|
| 1 | $LW(A)$ | | |
| 2 | $R(A)$ | | |
| 3 | $W(A)$ | | |
| 4 | | $LW(A)$ | ▲ A verrouillé, T_2 en attente |
| 4 | $LW(B)$ | | On poursuit T_1 |
| 6 | $W(B)$ | | |
| 7 | $U(A, B)$ | | |
| 8 | | $LW(A)$ | verrou sur A avant B |

Transaction : Two Phase Locking

Si l'on considère les transactions T_1 , T_2 et l'exécution suivante :

| Temps | T_1 | T_2 |
|-------|--------|--------|
| 1 | $R(A)$ | |
| 2 | $W(A)$ | |
| 3 | | $R(B)$ |
| 4 | | $W(B)$ |
| 5 | $W(B)$ | |
| 6 | | $W(A)$ |

→ Chaque transaction ouvre A avant d'ouvrir B

Exécution réelle ?

| Temps | T_1 | T_2 | |
|-------|-----------|---------|--|
| 1 | $LW(A)$ | | |
| 2 | $R(A)$ | | |
| 3 | $W(A)$ | | |
| 4 | | $LW(A)$ | ▲ A verrouillé, T_2 en attente |
| 4 | $LW(B)$ | | On poursuit T_1 |
| 6 | $W(B)$ | | |
| 7 | $U(A, B)$ | | |
| 8 | | $LW(A)$ | verrou sur A avant B |
| 8 | | $LW(B)$ | |

Transaction : Two Phase Locking

Si l'on considère les transactions T_1 , T_2 et l'exécution suivante :

| Temps | T_1 | T_2 |
|-------|--------|--------|
| 1 | $R(A)$ | |
| 2 | $W(A)$ | |
| 3 | | $R(B)$ |
| 4 | | $W(B)$ |
| 5 | $W(B)$ | |
| 6 | | $W(A)$ |

→ Chaque transaction ouvre A avant d'ouvrir B

Exécution réelle ?

| Temps | T_1 | T_2 | |
|-------|-----------|-----------|--|
| 1 | $LW(A)$ | | |
| 2 | $R(A)$ | | |
| 3 | $W(A)$ | | |
| 4 | | $LW(A)$ | ▲ A verrouillé, T_2 en attente |
| 4 | $LW(B)$ | | On poursuit T_1 |
| 6 | $W(B)$ | | |
| 7 | $U(A, B)$ | | |
| 8 | | $LW(A)$ | verrou sur A avant B |
| 8 | | $LW(B)$ | |
| 8 | | $R(B)$ | |
| 8 | | $W(B)$ | |
| 8 | | $W(A)$ | |
| 8 | | $U(A, B)$ | |

Transaction : Two Phase Locking

Si l'on considère les transactions T_1 , T_2 et l'exécution suivante :

| Temps | T_1 | T_2 |
|-------|--------|--------|
| 1 | $R(A)$ | |
| 2 | $W(A)$ | |
| 3 | | $R(B)$ |
| 4 | | $W(B)$ |
| 5 | $W(B)$ | |
| 6 | | $W(A)$ |

→ Chaque transaction ouvre A avant d'ouvrir B

Exécution réelle ?

| Temps | T_1 | T_2 | |
|-------|-----------|-----------|--|
| 1 | $LW(A)$ | | |
| 2 | $R(A)$ | | |
| 3 | $W(A)$ | | |
| 4 | | $LW(A)$ | ▲ A verrouillé, T_2 en attente |
| 4 | $LW(B)$ | | On poursuit T_1 |
| 6 | $W(B)$ | | |
| 7 | $U(A, B)$ | | |
| 8 | | $LW(A)$ | verrou sur A avant B |
| 8 | | $LW(B)$ | |
| 8 | | $R(B)$ | |
| 8 | | $W(B)$ | |
| 8 | | $W(A)$ | |
| 8 | | $U(A, B)$ | |

Verrouillage en 2 phases

Utilisation de verrous → bloquer la lecture ou l'écriture de données à d'autres transactions

Quelles données (granularités)? Cela dépend de ce que l'on peut facilement déduire des requêtes

- Sur des enregistrements : nécessite de connaître les enregistrements cible
- Sur des pages
- Sur des relations/tables : verrouille beaucoup de données

Two phase locking : Conclusion

Pour conclure

- Le principe de la sérialisabilité
- Comment décider de la sérialisabilité d'une exécution
- Comment éviter les incohérences du à l'exécution des transactions

→ Pas de solutions **magiques**