Ré-identification sans coordination dans les types de données répliquées sans conflits

Matthieu Nicolas (matthieu.nicolas@loria.fr)

20 décembre 2022

Rapporteurs :	Hanifa Boucheneb	Professeure, Polytechnique Montréal
	Davide Frey	Chargé de recherche, HdR, Inria Rennes Bretagne-Atlantique
Examinateurs :	Hala Skaf-Molli	Maîtresse de conférences, HdR, Nantes Université, LS2N
	Stephan Merz	Directeur de Recherche, Inria Nancy - Grand Est
Encadrants :	Olivier Perrin	Professeur des Universités, Université de Lorraine, LORIA
	Gérald Oster	Maître de conférences, Université de Lorraine, LORIA

Loria
Laboratoire lorrain de recherche en informatique et ses applications

Inria

cnrs
dépasser les frontières

Conflict-free Replicated Data Types (CRDTs) [1]

- Nouvelles spécifications des types de données, e.g. *Ensemble* ou *Séquence*
- Conçues pour données répliquées

[1]. Shapiro et al., « Conflict-Free Replicated Data Types ».

Conflict-free Replicated Data Types (CRDTs) [1]

- Nouvelles spécifications des types de données, e.g. *Ensemble* ou *Séquence*
- Conçues pour données répliquées

Propriétés des CRDTs

- Permettent modifications sans coordination
- Garantissent la convergence forte

[1]. Shapiro et al., « Conflict-Free Replicated Data Types ».

Conflict-free Replicated Data Types (CRDTs) [1]

- Nouvelles spécifications des types de données, e.g. *Ensemble* ou *Séquence*
- Conçues pour données répliquées

Propriétés des CRDTs

- Permettent modifications sans coordination
- Garantissent la convergence forte

Convergence forte

Ensemble des noeuds ayant intégrés le même ensemble de modifications obtient des états équivalents, sans nécessiter d'actions ou messages supplémentaires

[1]. Shapiro et al., « Conflict-Free Replicated Data Types ».

LogootSplit [3], un CRDT pour le type Séquence

- Assigne identifiant de position à chaque élément de la séquence

[2]. Preguica et al., « A Commutative Replicated Data Type for Cooperative Editing ».
[3]. André et al., « Supporting Adaptable Granularity of Changes for Massive-Scale Collaborative Editing ».

LogootSplit [3], un CRDT pour le type Séquence

- Assigne identifiant de position à chaque élément de la séquence

Propriétés des identifiants de position [2]

1. Unique
2. Immuable
3. Ordonnable par une relation d'ordre strict total $<_{id}$
4. Appartenant à un espace dense

---

[2]. Preguica et al., « A Commutative Replicated Data Type for Cooperative Editing ».
[3]. André et al., « Supporting Adaptable Granularity of Changes for Massive-Scale Collaborative Editing ».

LogootSplit [3], un CRDT pour le type Séquence

- Assigne identifiant de position à chaque élément de la séquence

Propriétés des identifiants de position [2]

1. Unique
2. Immuable
3. Ordonnable par une relation d'ordre strict total $<_{id}$
4. Appartenant à un espace dense

- Ordonne les éléments entre eux en utilisant leurs identifiants

---

[2]. Preguica et al., « A Commutative Replicated Data Type for Cooperative Editing ».
[3]. André et al., « Supporting Adaptable Granularity of Changes for Massive-Scale Collaborative Editing ».

Identifiant LogootSplit

Identifiant

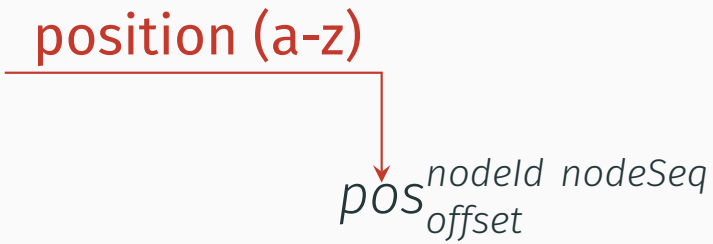
- Composé d'un ou plusieurs tuples suivants

$$pos_{offset}^{nodeId\ \ nodeSeq}$$

Identifiant LogootSplit

Identifiant

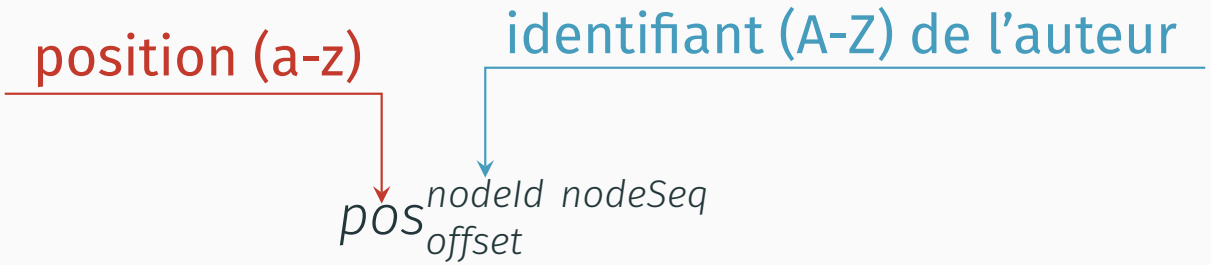
- Composé d'un ou plusieurs tuples suivants



Identifiant LogootSplit

Identifiant

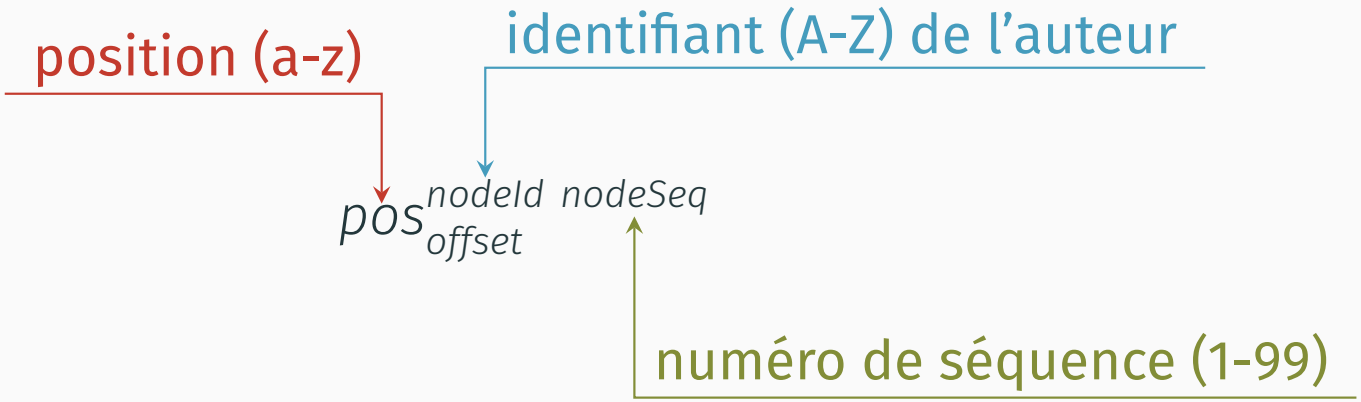
- Composé d'un ou plusieurs tuples suivants



Identifiant LogootSplit

Identifiant

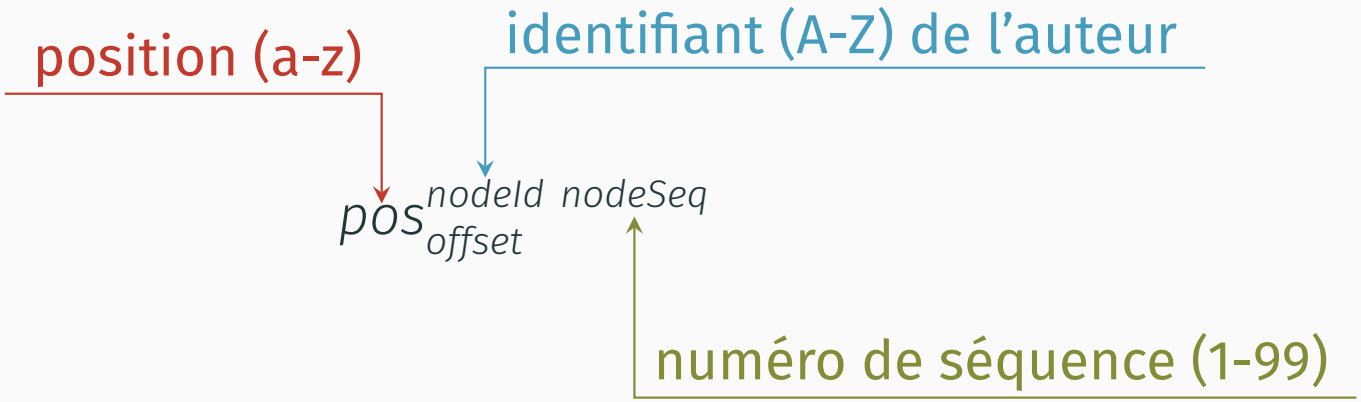
- Composé d'un ou plusieurs tuples suivants



Identifiant LogootSplit

Identifiant

- Composé d'un ou plusieurs tuples suivants



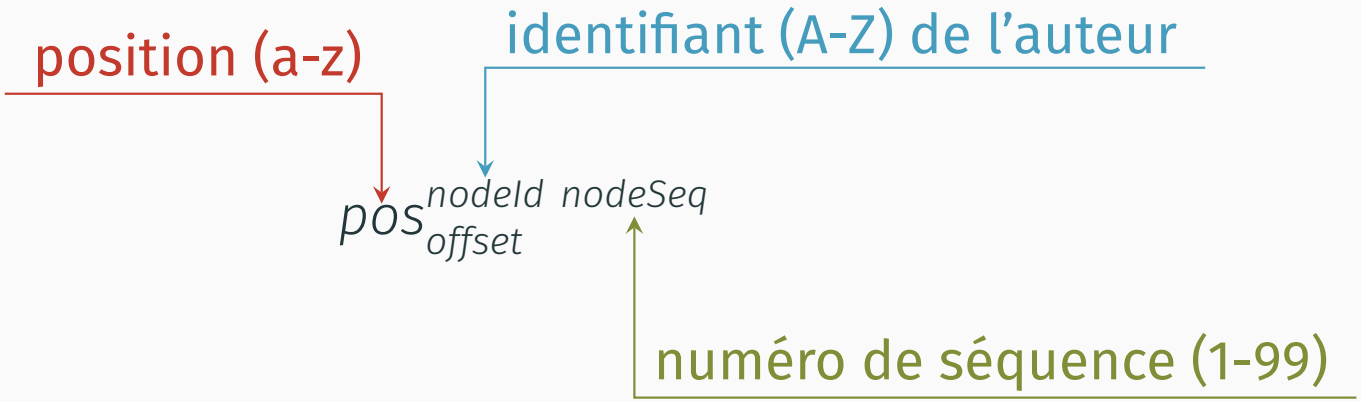
Exemples

d_0^{F5}

Identifiant LogootSplit

Identifiant

- Composé d'un ou plusieurs tuples suivants



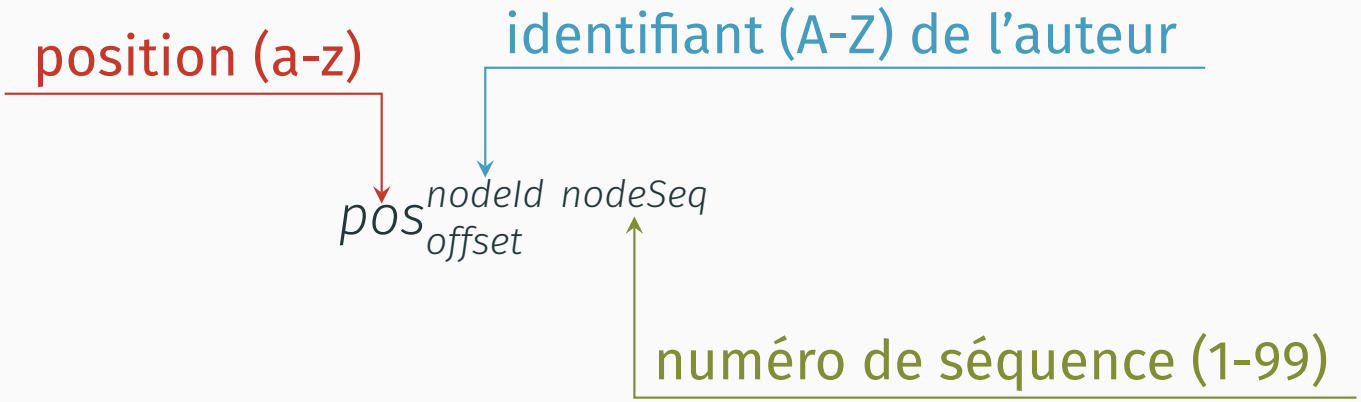
Exemples

$$d_0^{F5} <_{id} m_0^{C1}$$

Identifiant LogootSplit

Identifiant

- Composé d'un ou plusieurs tuples suivants



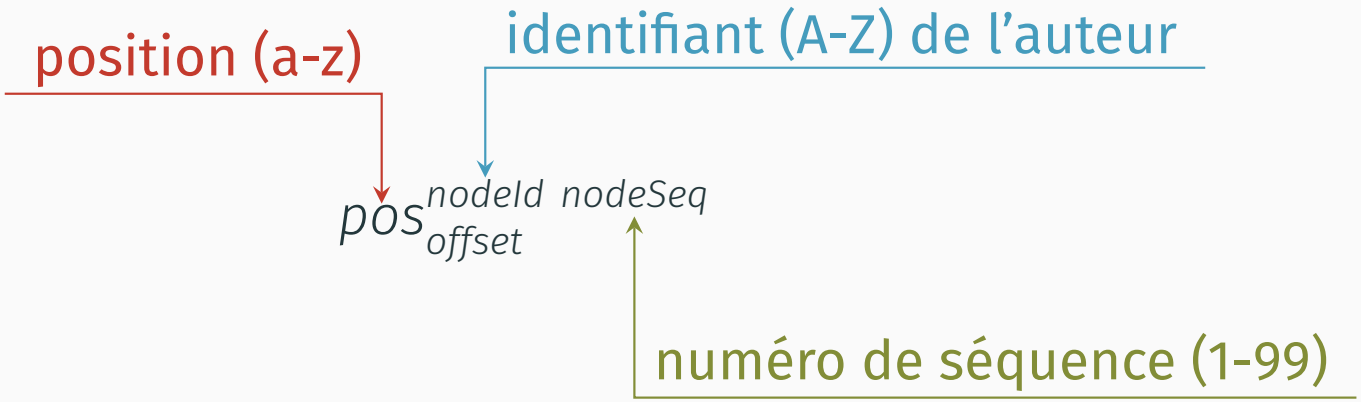
Exemples

$$d_0^{F5} <_{id} m_0^{C1} <_{id} m_0^{C1} f_0^{E1}$$

Identifiant LogootSplit

Identifiant

- Composé d'un ou plusieurs tuples suivants



Exemples

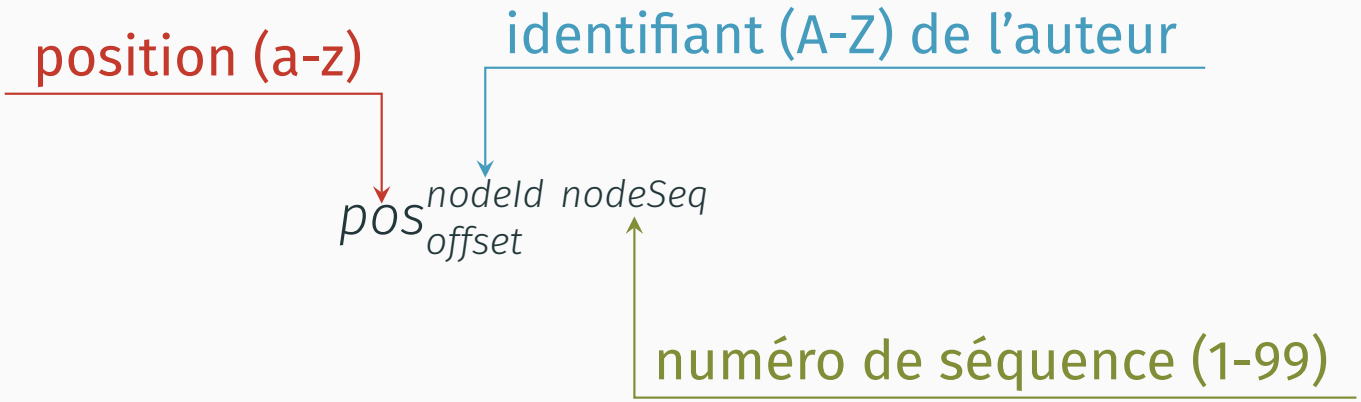
$$d_0^{F5} <_{id} m_0^{C1} <_{id} m_0^{C1} f_0^{E1}$$

$$i_0^{B1} <_{id} \quad ? \quad <_{id} i_1^{B1}$$

Identifiant LogootSplit

Identifiant

- Composé d'un ou plusieurs tuples suivants



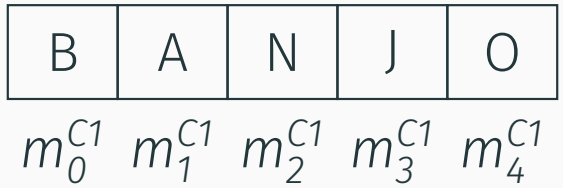
Exemples

$$d_0^{F5} <_{id} m_0^{C1} <_{id} m_0^{C1} f_0^{E1}$$

$$i_0^{B1} <_{id} i_0^{B1} f_0^{A1} <_{id} i_1^{B1}$$

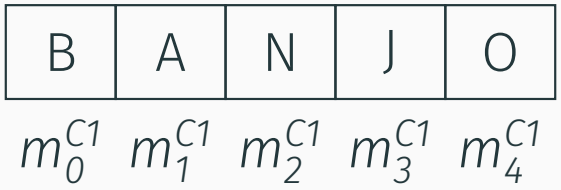
Bloc LogootSplit

- Coûteux de stocker les identifiants de chaque élément



Bloc LogootSplit

- Coûteux de stocker les identifiants de chaque élément



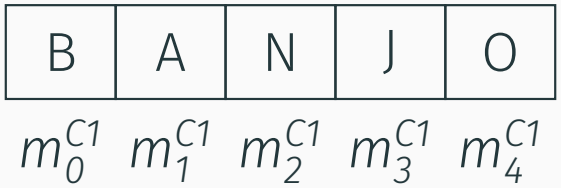
- Aggrège en un bloc éléments ayant identifiants contigus

Identifiants contigus

Deux identifiants sont contigus si et seulement si les deux identifiants sont identiques à l'exception de leur dernier offset et que leur derniers offsets sont consécutifs.

Bloc LogootSplit

- Coûteux de stocker les identifiants de chaque élément



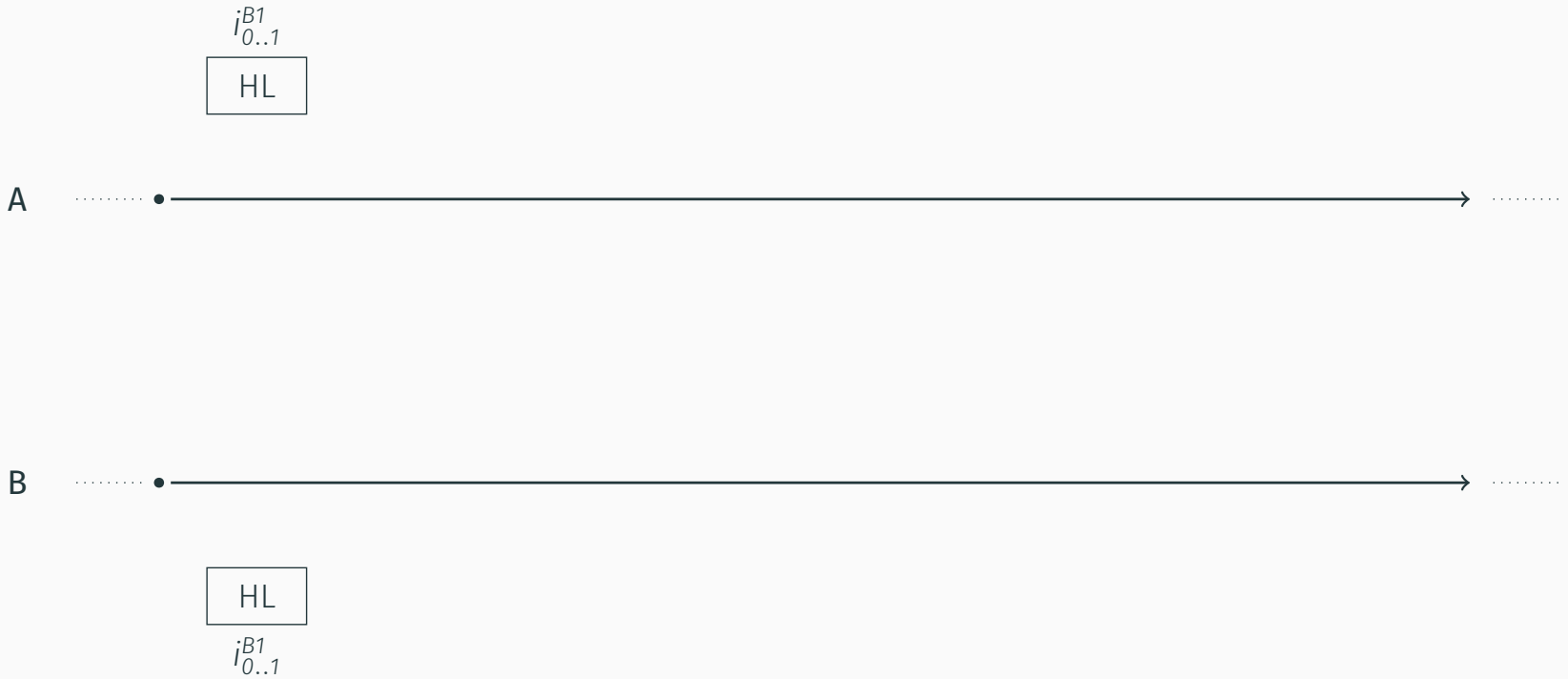
- Aggrège en un bloc éléments ayant identifiants contigus

Identifiants contigus

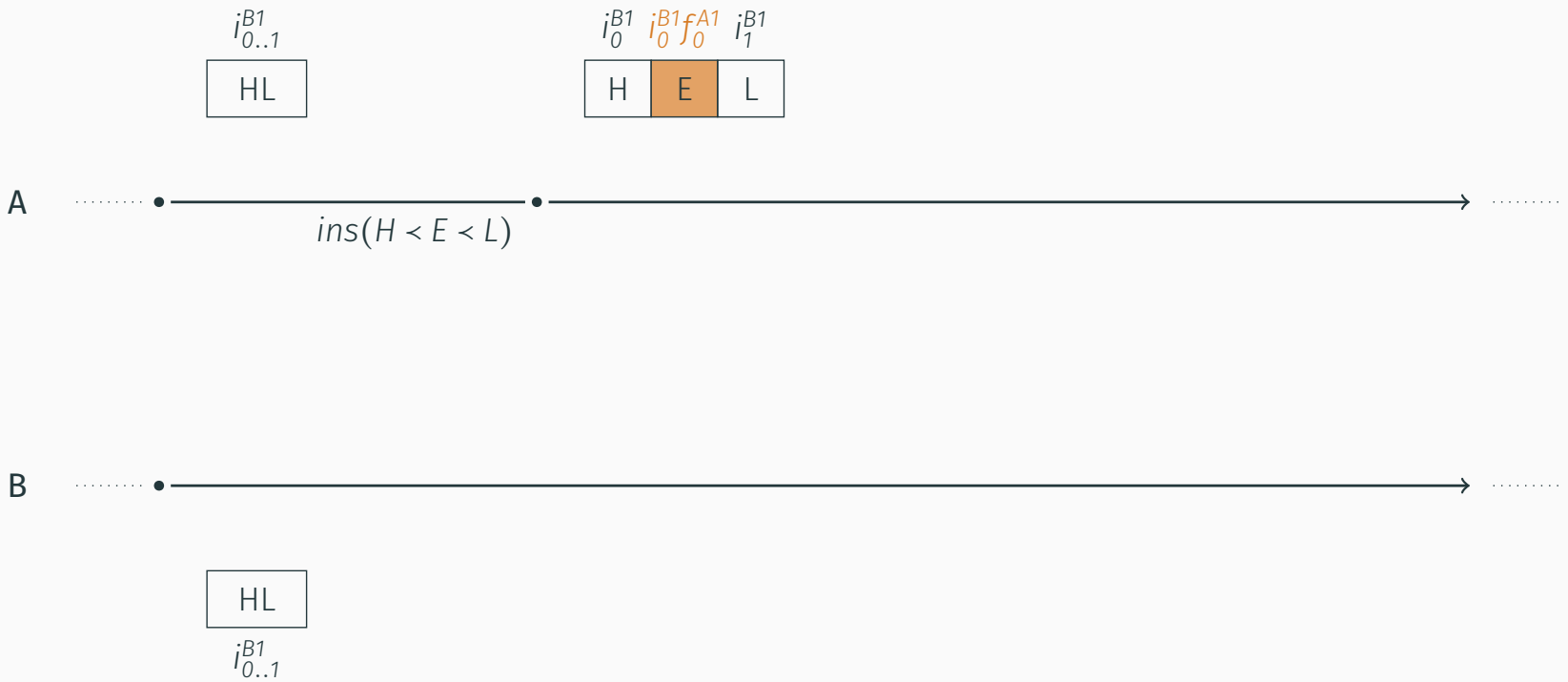
Deux identifiants sont contigus si et seulement si les deux identifiants sont identiques à l'exception de leur dernier offset et que leur derniers offsets sont consécutifs.

- Note l'intervalle d'identifiants d'un bloc : $pos_{begin..end}^{nodeId\ nodeSeq}$

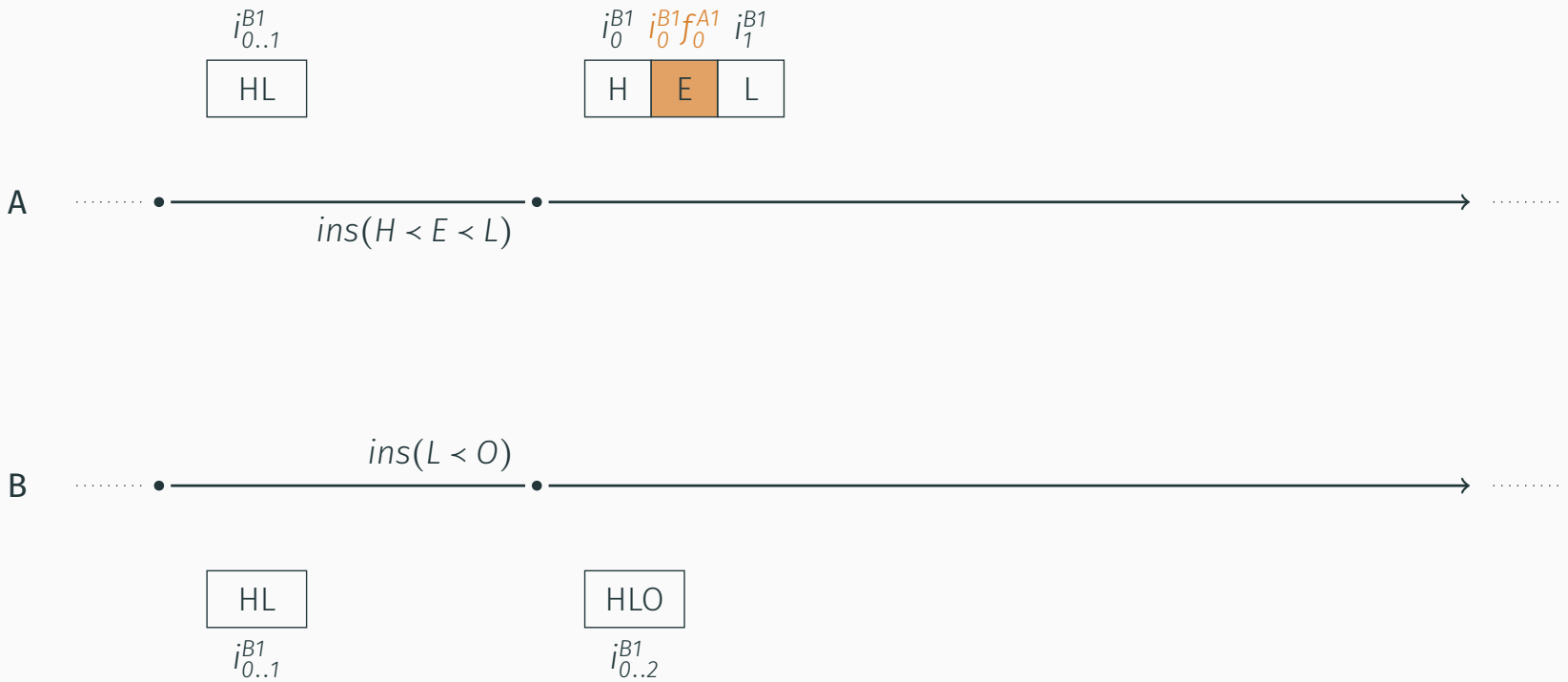
Exemple insertions concurrentes



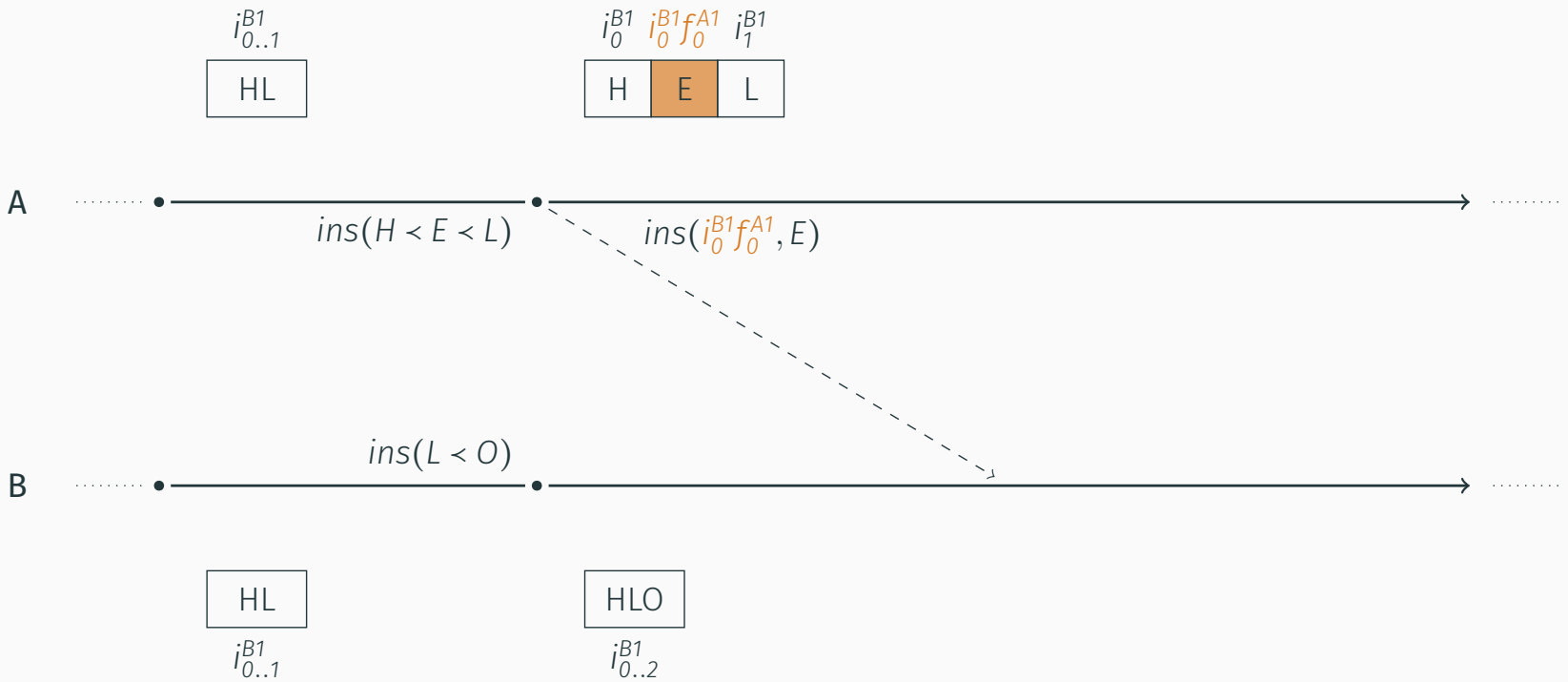
Exemple insertions concurrentes



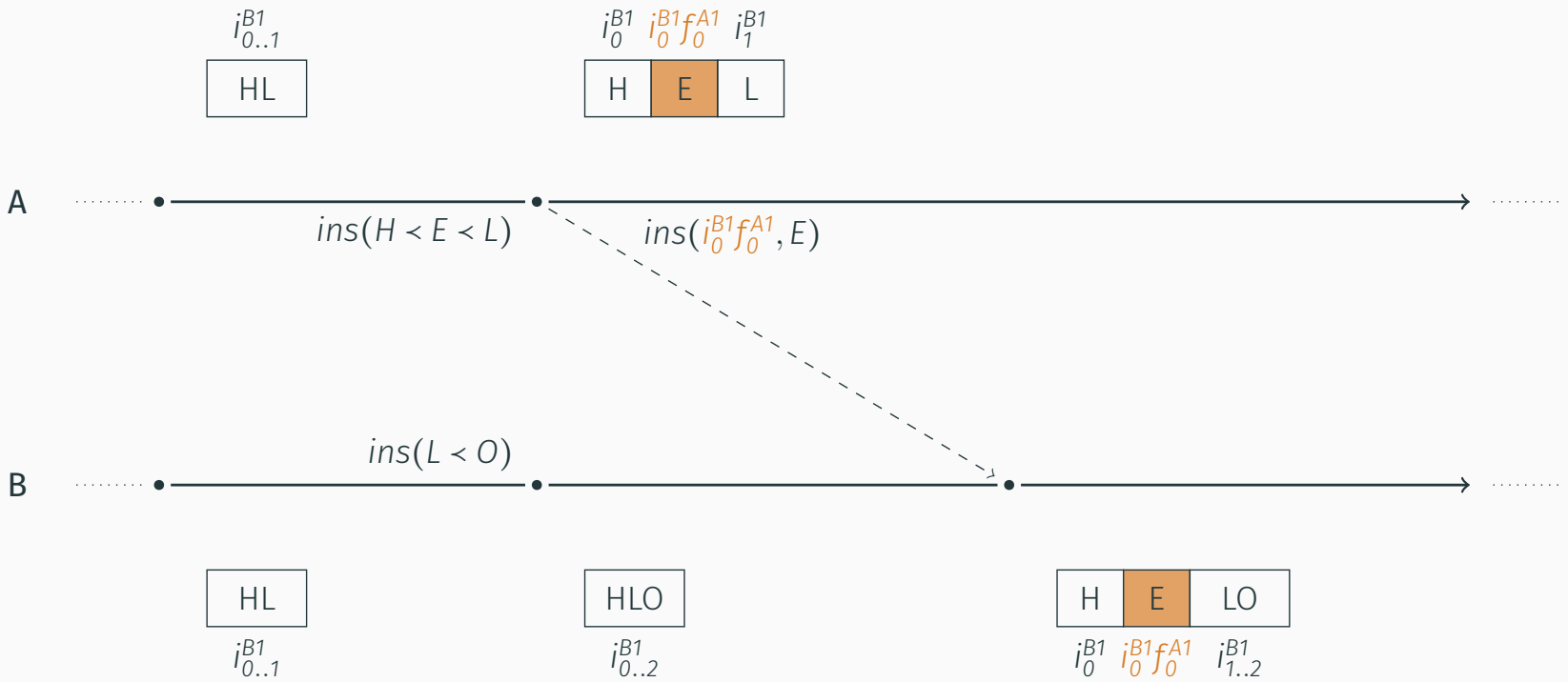
Exemple insertions concurrentes



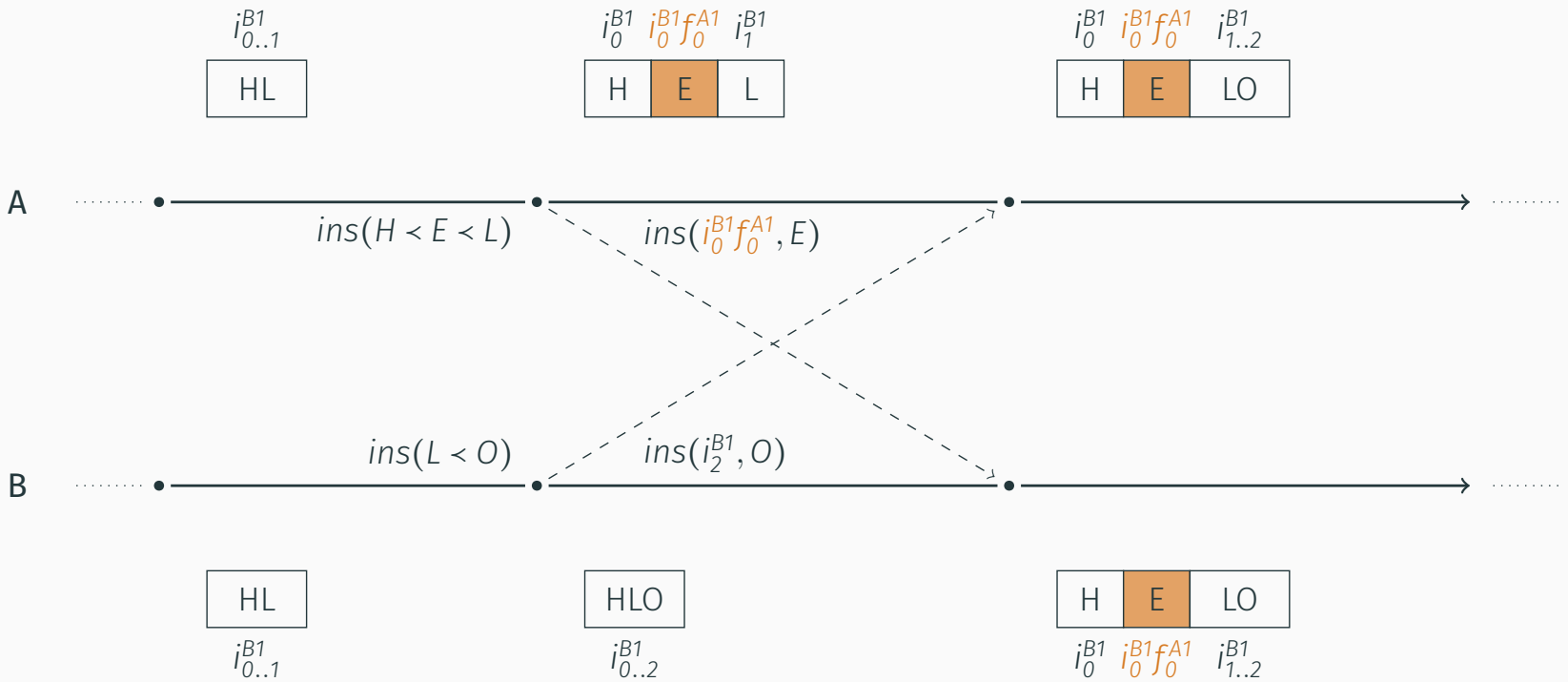
Exemple insertions concurrentes



Exemple insertions concurrentes



Exemple insertions concurrentes



Limites de LogootSplit

Sources croissance métadonnées

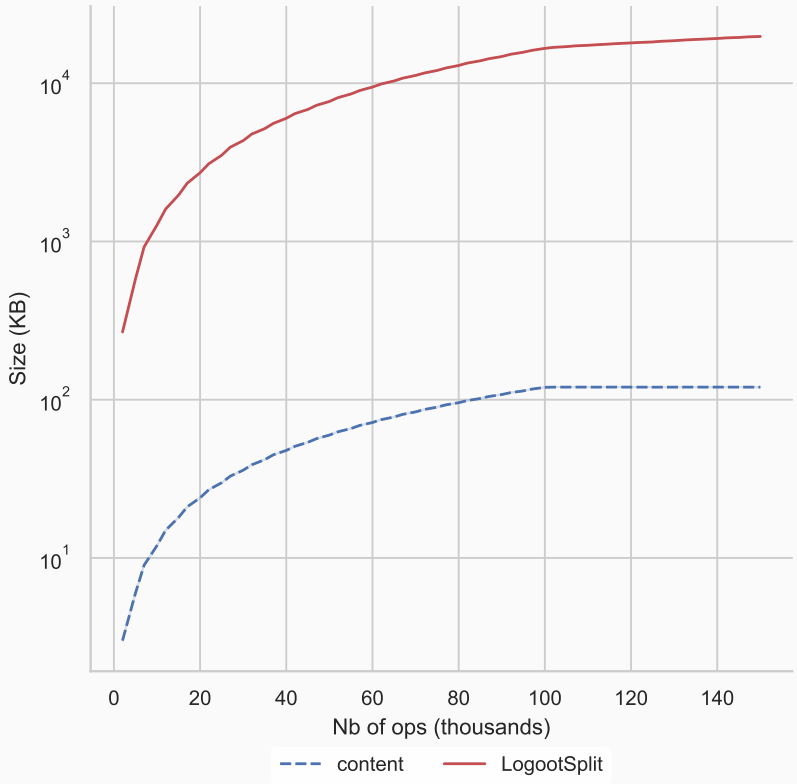
- Croissance non-bornée de la taille des identifiants
- Fragmentation en blocs courts

Limites de LogootSplit

Sources croissance métadonnées

- Croissance non-bornée de la taille des identifiants
- Fragmentation en blocs courts

Taille du contenu comparé à la taille de la séquence LogootSplit



Mitigation du surcoût des CRDTs pour le type Séquence

L'approche core-nebula [4]

- Ré-assigne des identifiants courts aux éléments, c.-à-d. les *renomme*
- Transforme les opérations *insert* et *remove* concurrentes...

[4]. Zawirski et al., « Asynchronous rebalancing of a replicated tree ».

Mitigation du surcoût des CRDTs pour le type Séquence

L'approche core-nebula [4]

- Ré-assigne des identifiants courts aux éléments, c.-à-d. les *renomme*
- Transforme les opérations *insert* et *remove* concurrentes...
- ...mais ne supportent pas opérations *rename* concurrentes

[4]. Zawirski et al., « Asynchronous rebalancing of a replicated tree ».

Mitigation du surcoût des CRDTs pour le type Séquence

L'approche core-nebula [4]

- Ré-assigne des identifiants courts aux éléments, c.-à-d. les *renomme*
- Transforme les opérations *insert* et *remove* concurrentes...
- ...mais ne supportent pas opérations *rename* concurrentes

Inadaptée aux applications pair-à-pair

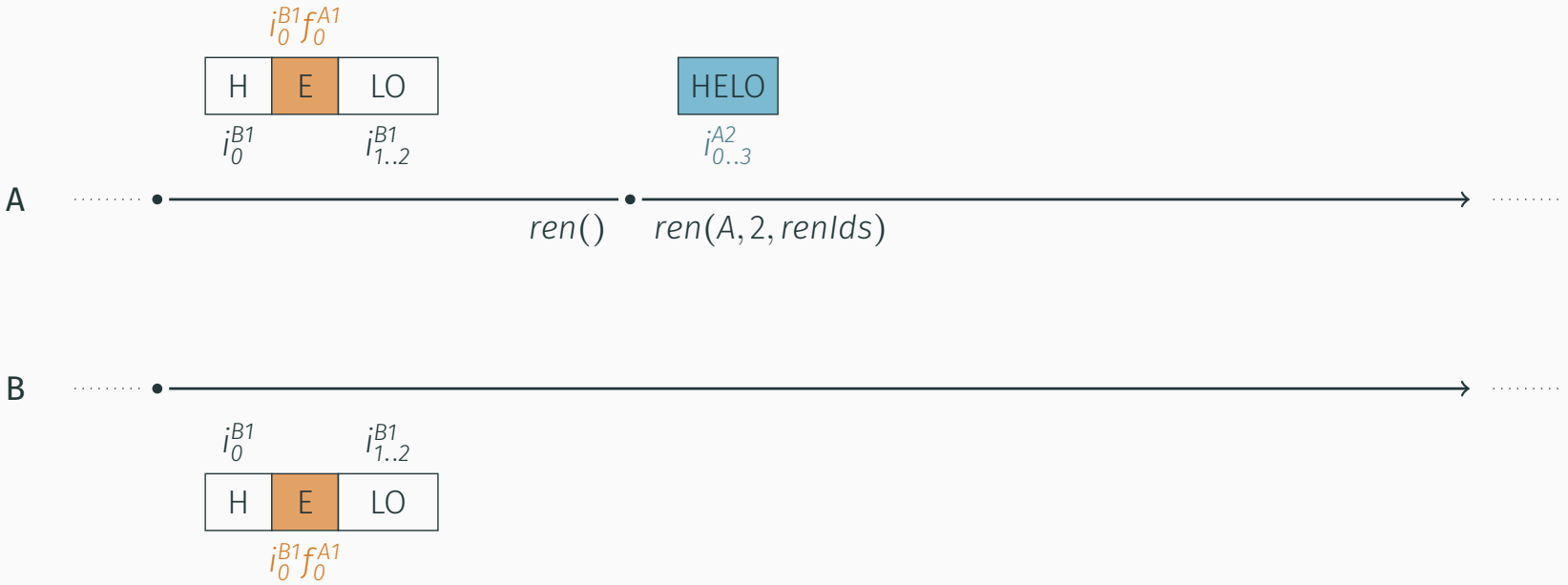
[4]. Zawirski et al., « Asynchronous rebalancing of a replicated tree ».

Proposition

Mécanisme de renommage supportant les renommages concurrents

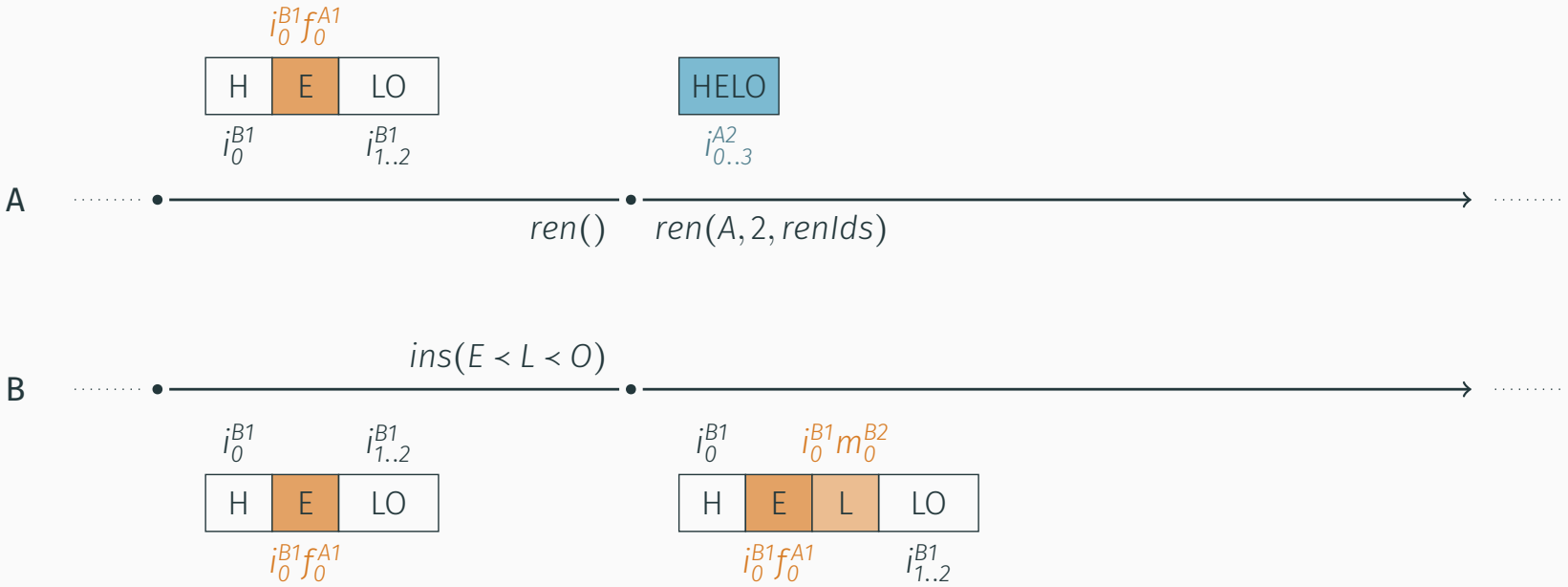
RenamableLogootSplit

Interactions avec opérations *insert* et *remove* concurrentes



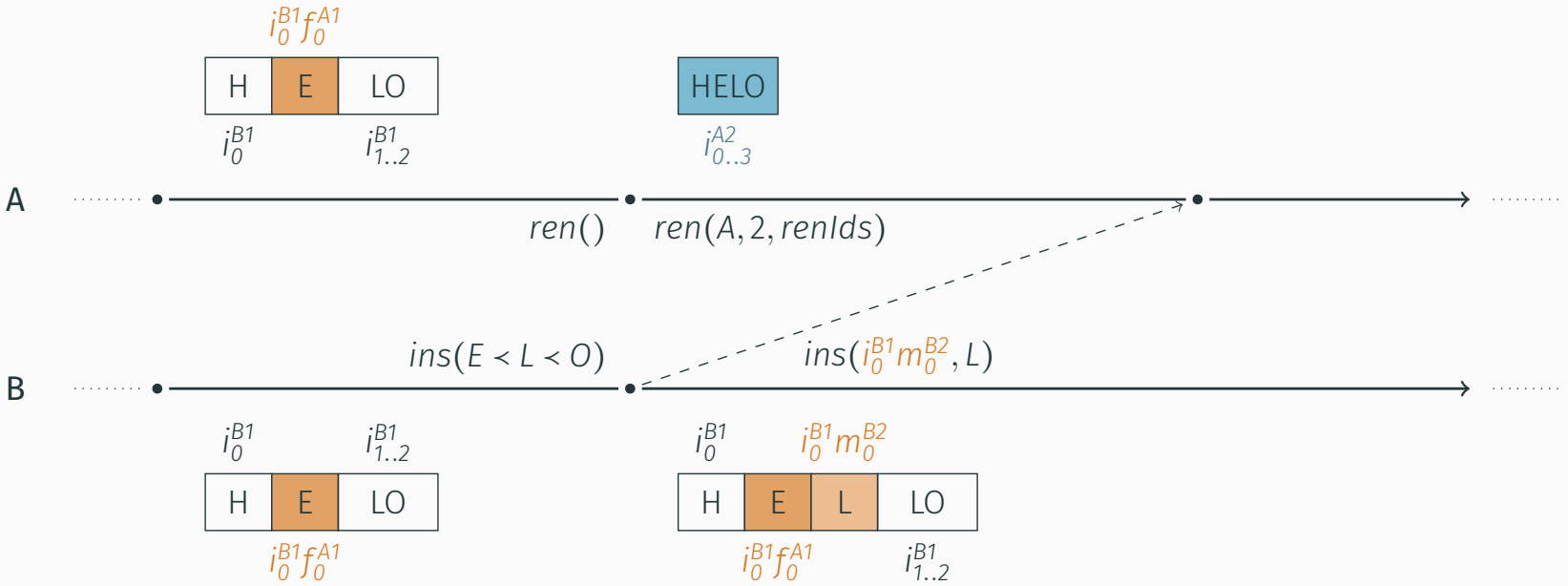
- Peuvent générer opérations concurrentes aux opérations *rename*

Interactions avec opérations *insert* et *remove* concurrentes



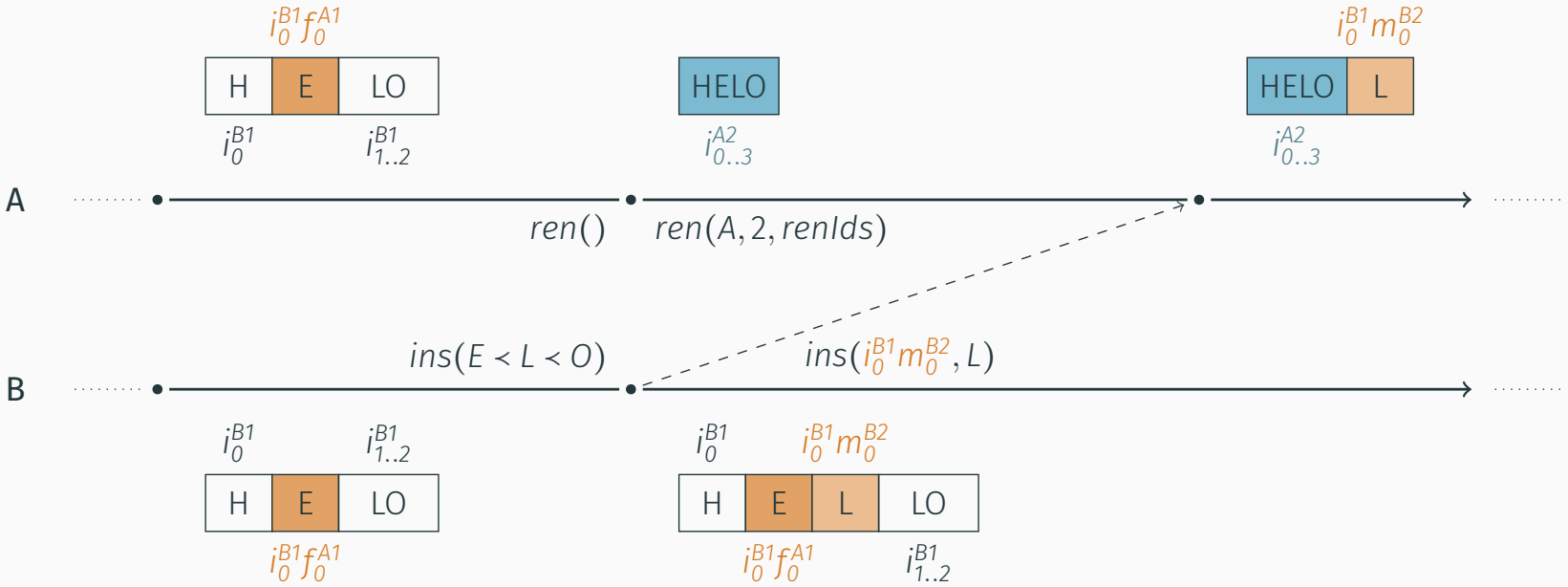
- Peuvent générer opérations concurrentes aux opérations *rename*

Interactions avec opérations *insert* et *remove* concurrentes



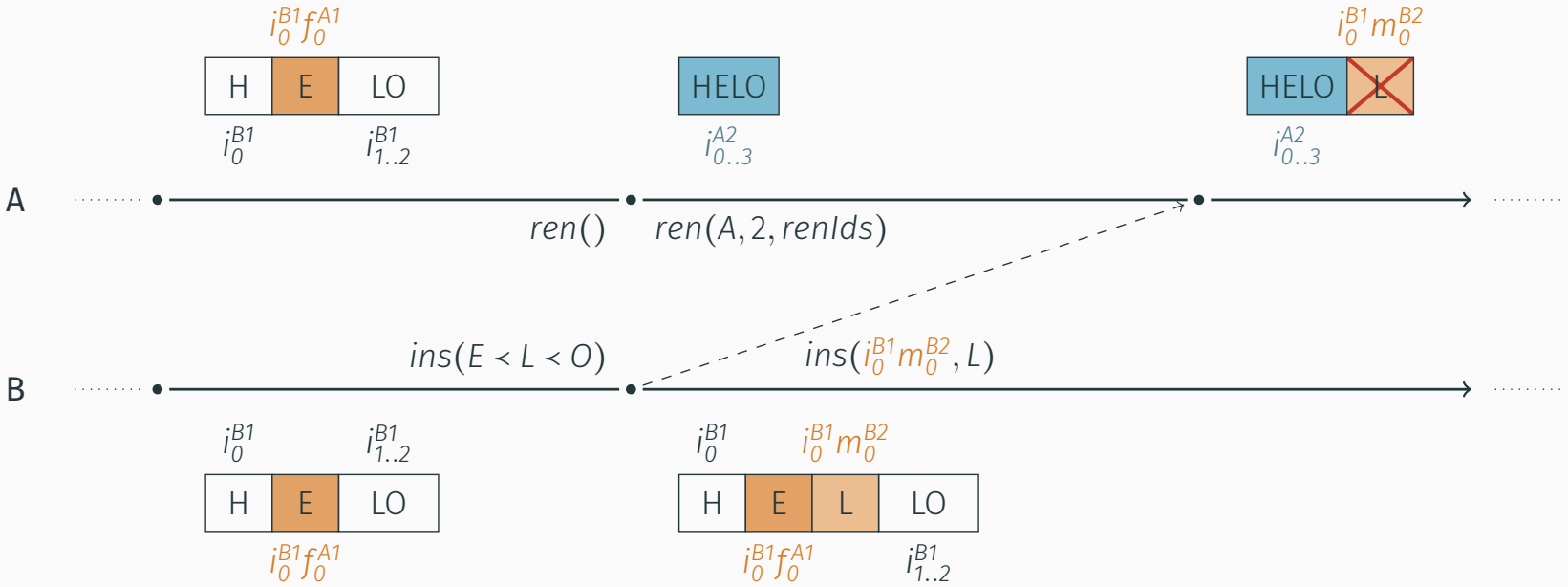
- Peuvent générer opérations concurrentes aux opérations *rename*

Interactions avec opérations *insert* et *remove* concurrentes



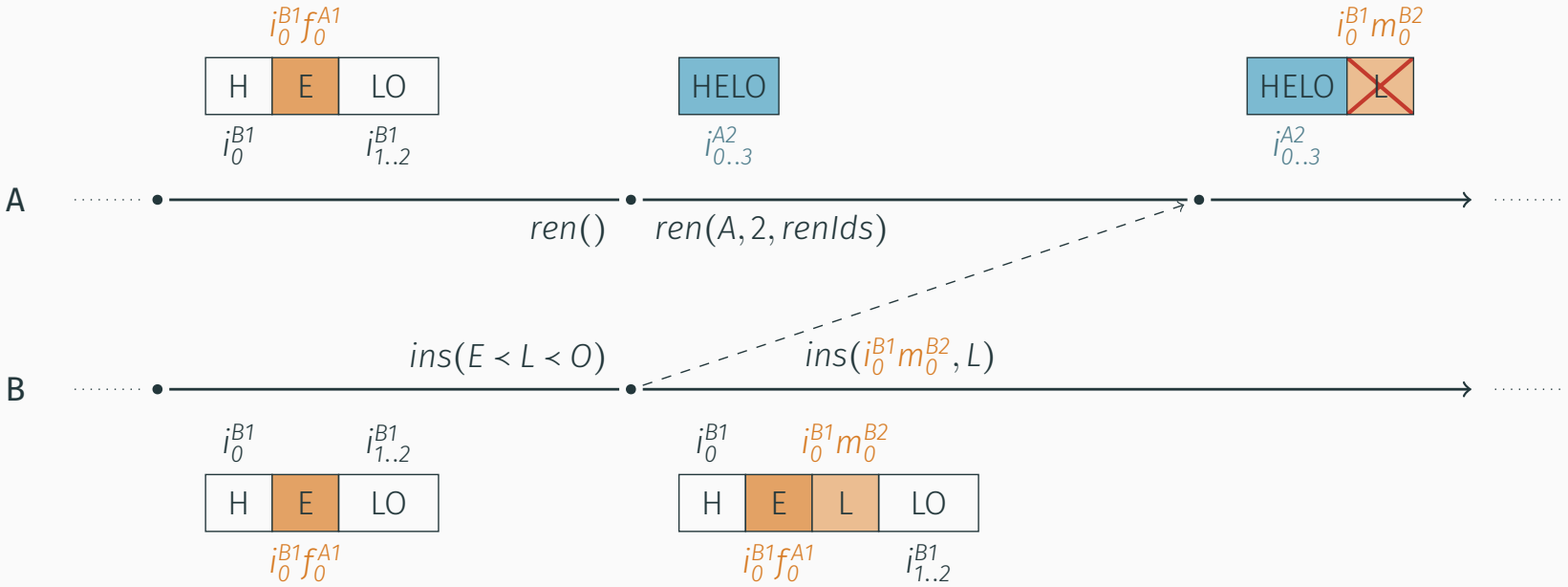
- Peuvent générer opérations concurrentes aux opérations *rename*

Interactions avec opérations *insert* et *remove* concurrentes



- Peuvent générer opérations concurrentes aux opérations *rename*
- Produisent anomalies si intégrées naïvement

Interactions avec opérations *insert* et *remove* concurrentes



- Peuvent générer opérations concurrentes aux opérations *rename*
- Produisent anomalies si intégrées naïvement

Nécessité d'un mécanisme dédié

Mécanisme de résolution de conflits

Besoins

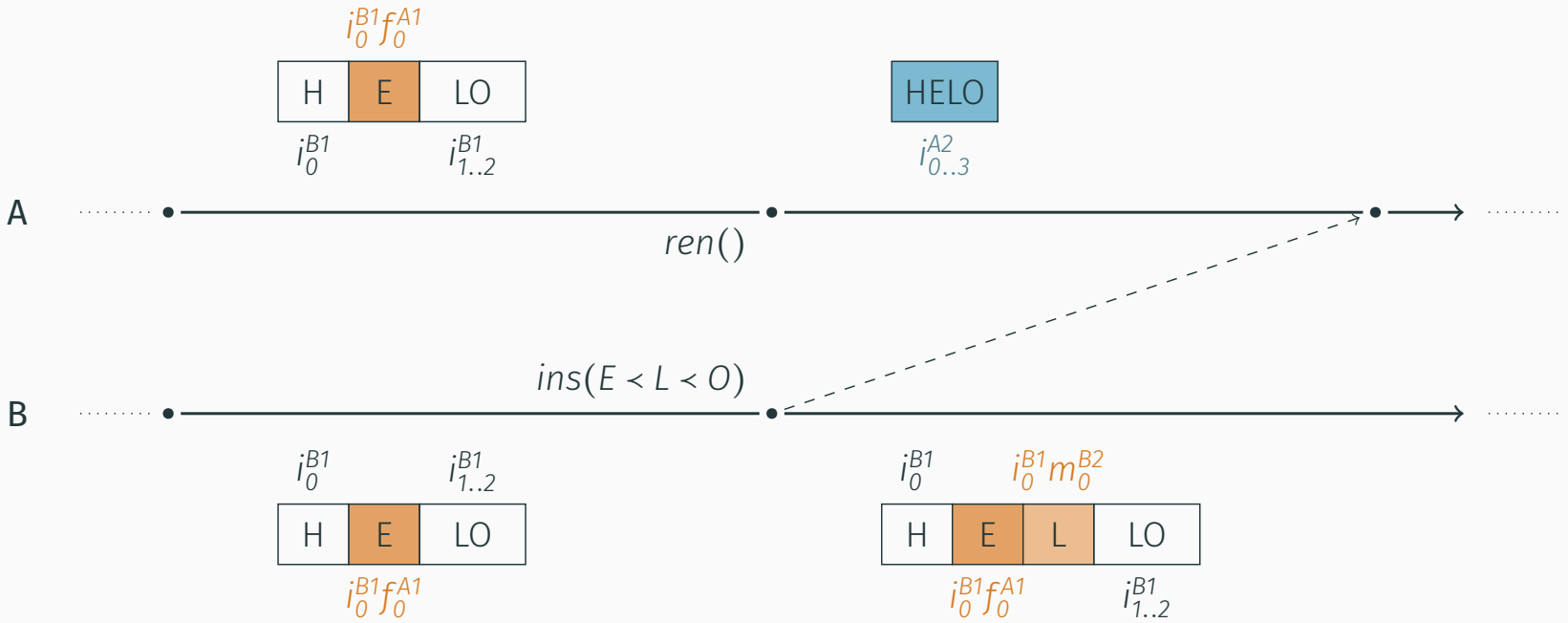
1. Détecter les opérations concurrentes aux opérations *rename*
2. Prendre en compte effet des opérations *rename* lors de l'intégration des opérations concurrentes

Mécanisme de résolution de conflits

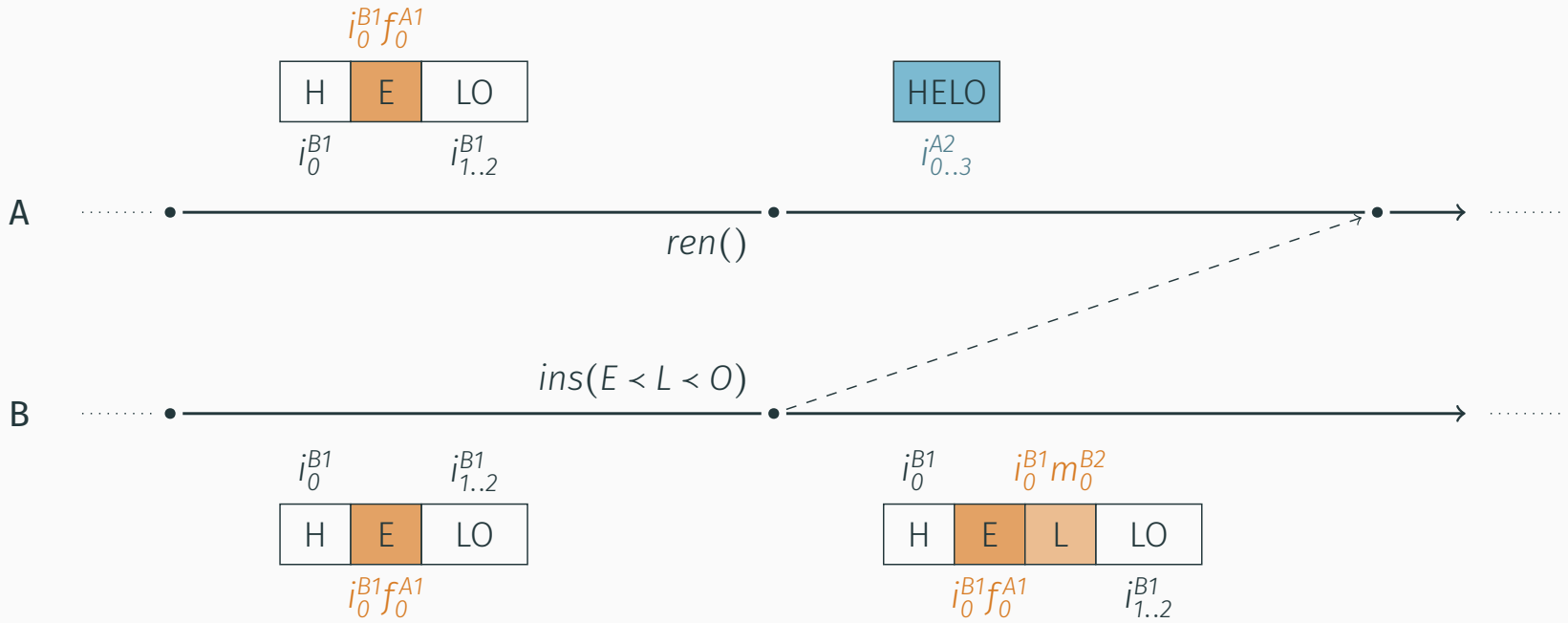
Besoins

1. Détecter les opérations concurrentes aux opérations *rename*
2. Prendre en compte effet des opérations *rename* lors de l'intégration des opérations concurrentes

Détection des opérations concurrentes à opération *rename*

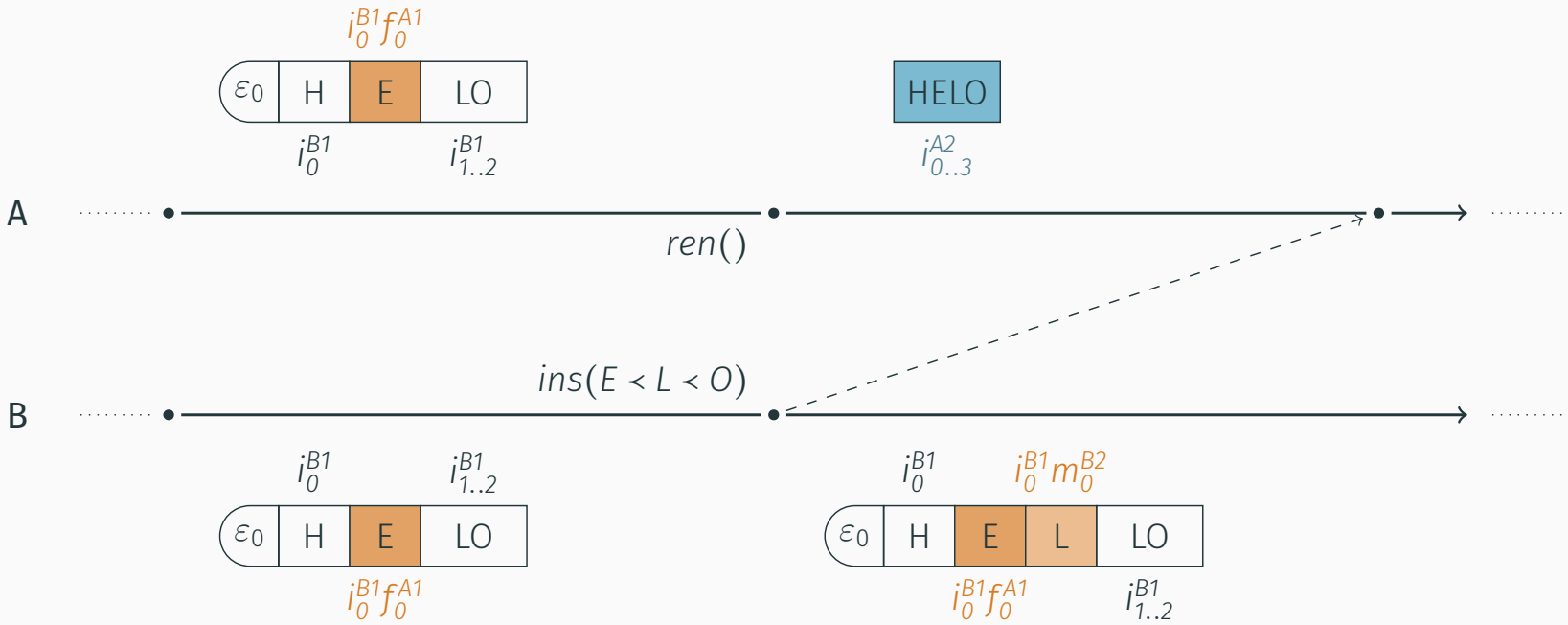


Détection des opérations concurrentes à opération *rename*



Ajout mécanisme d'époques

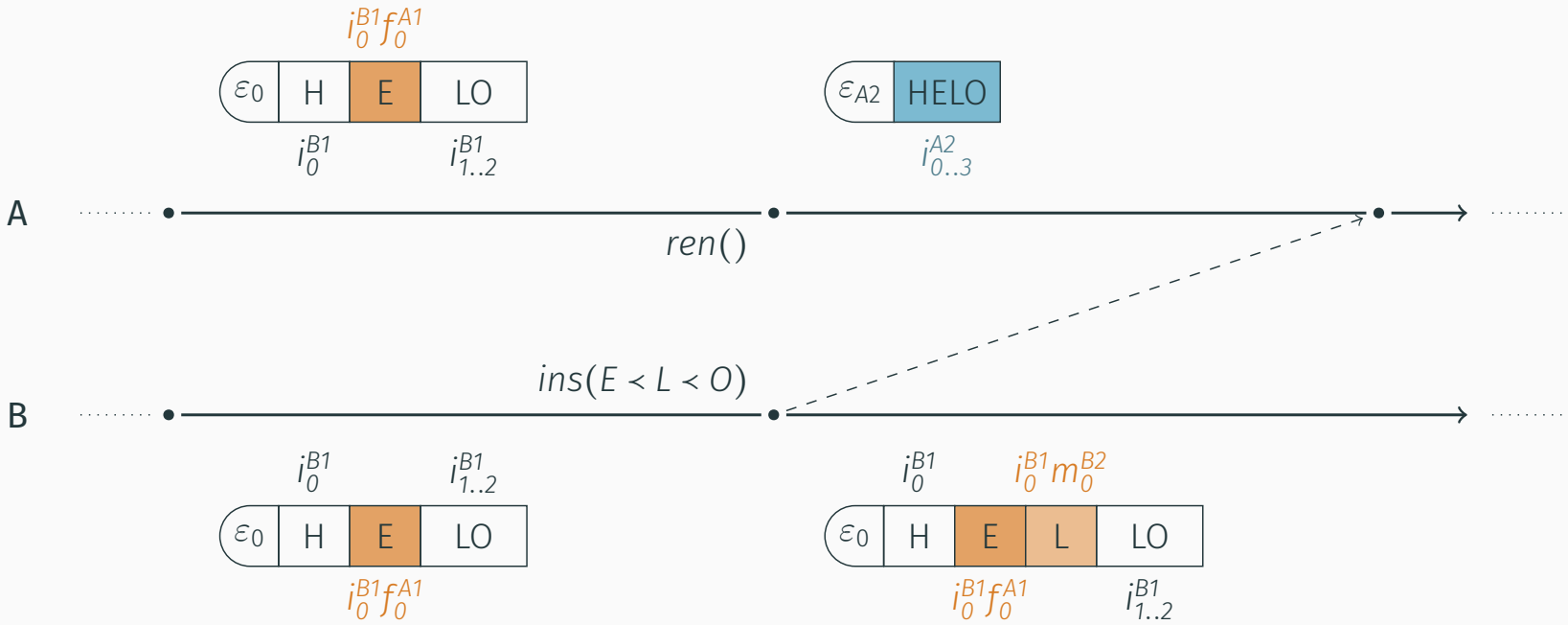
Détection des opérations concurrentes à opération *rename*



Ajout mécanisme d'époques

- Séquence commence à époque d'origine, notée ε_0

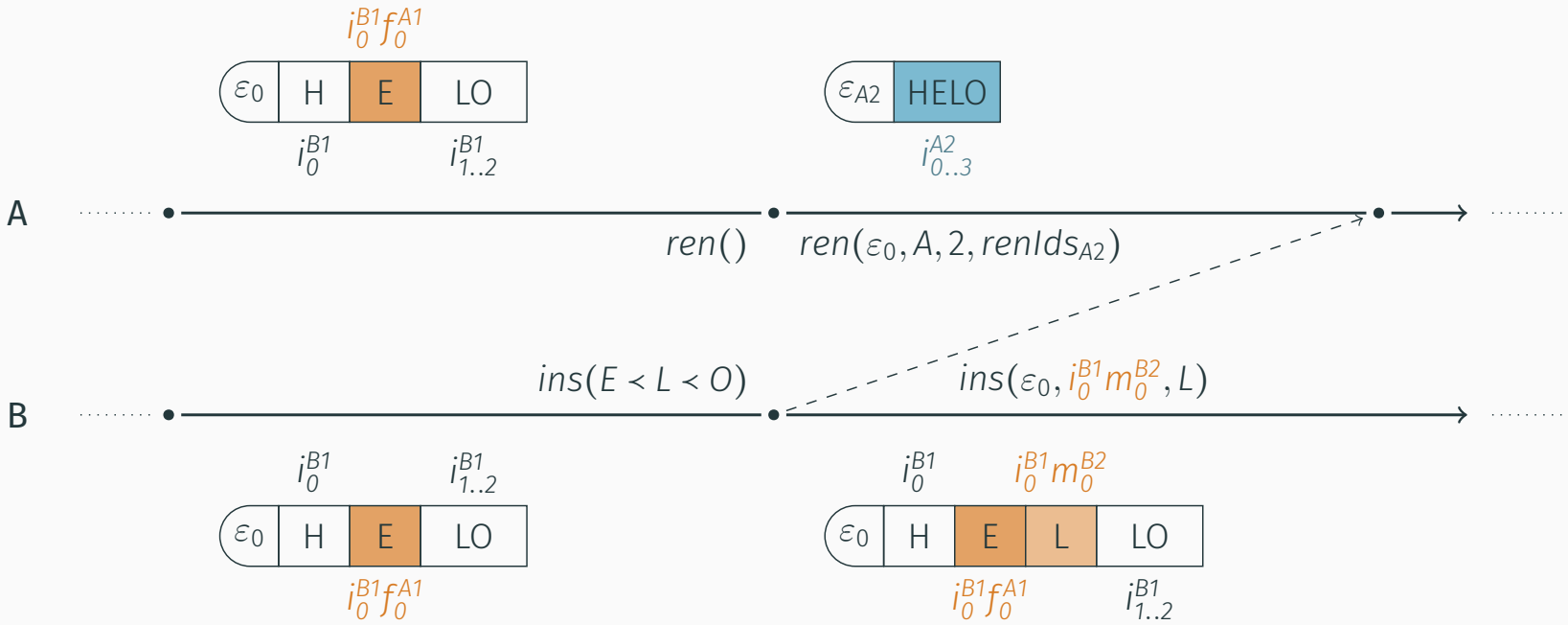
Détection des opérations concurrentes à opération *rename*



Ajout mécanisme d'époques

- Séquence commence à époque d'origine, notée ε_0
- *rename* font progresser à nouvelle époque, $\varepsilon_{nodeId\ nodeSeq}$

Détection des opérations concurrentes à opération *rename*



Ajout mécanisme d'époques

- Séquence commence à époque d'origine, notée ε_0
- *rename* font progresser à nouvelle époque, $\varepsilon_{nodeId\ nodeSeq}$
- Opérations labellisées avec époque de génération

Mécanisme de résolution de conflits

Besoins

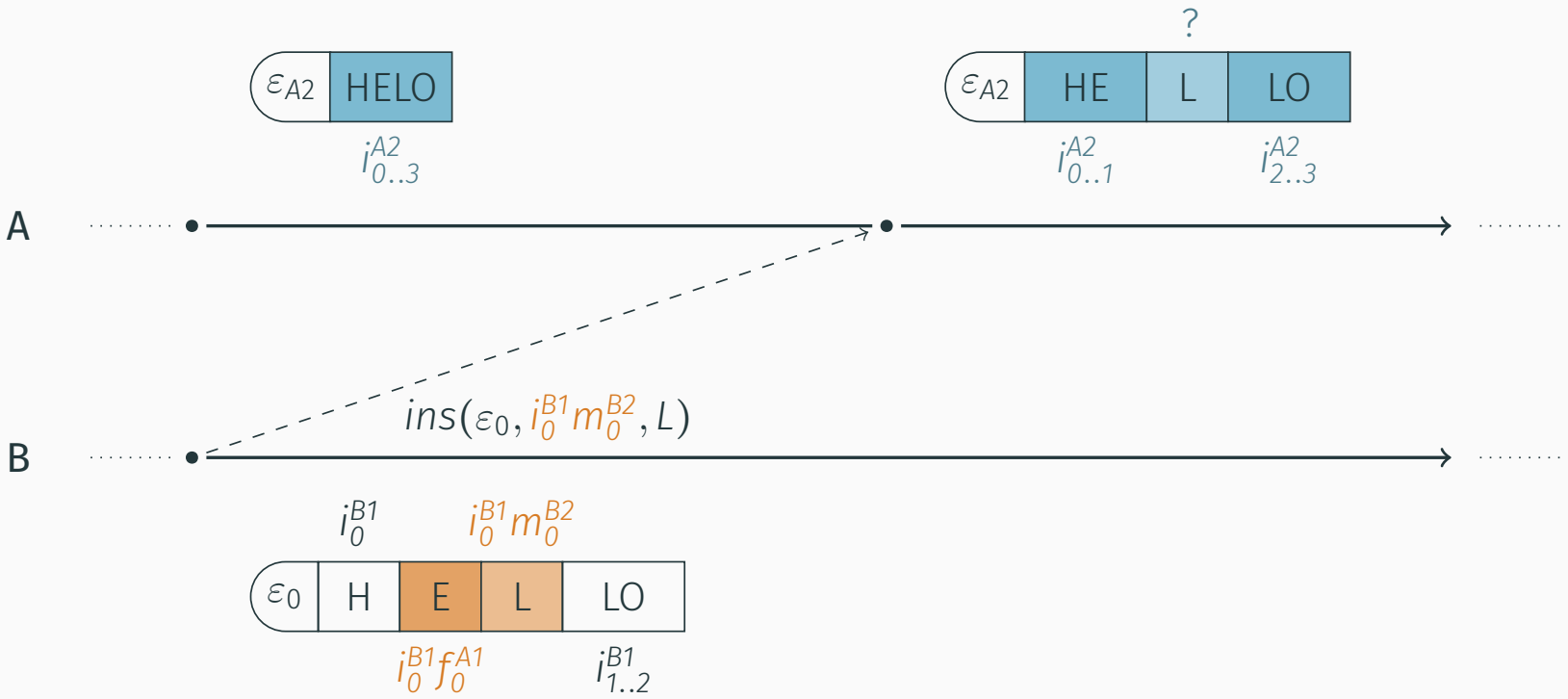
1. Détecter les opérations concurrentes aux opérations *rename*
2. Prendre en compte effet des opérations *rename* lors de l'intégration des opérations concurrentes

Mécanisme de résolution de conflits

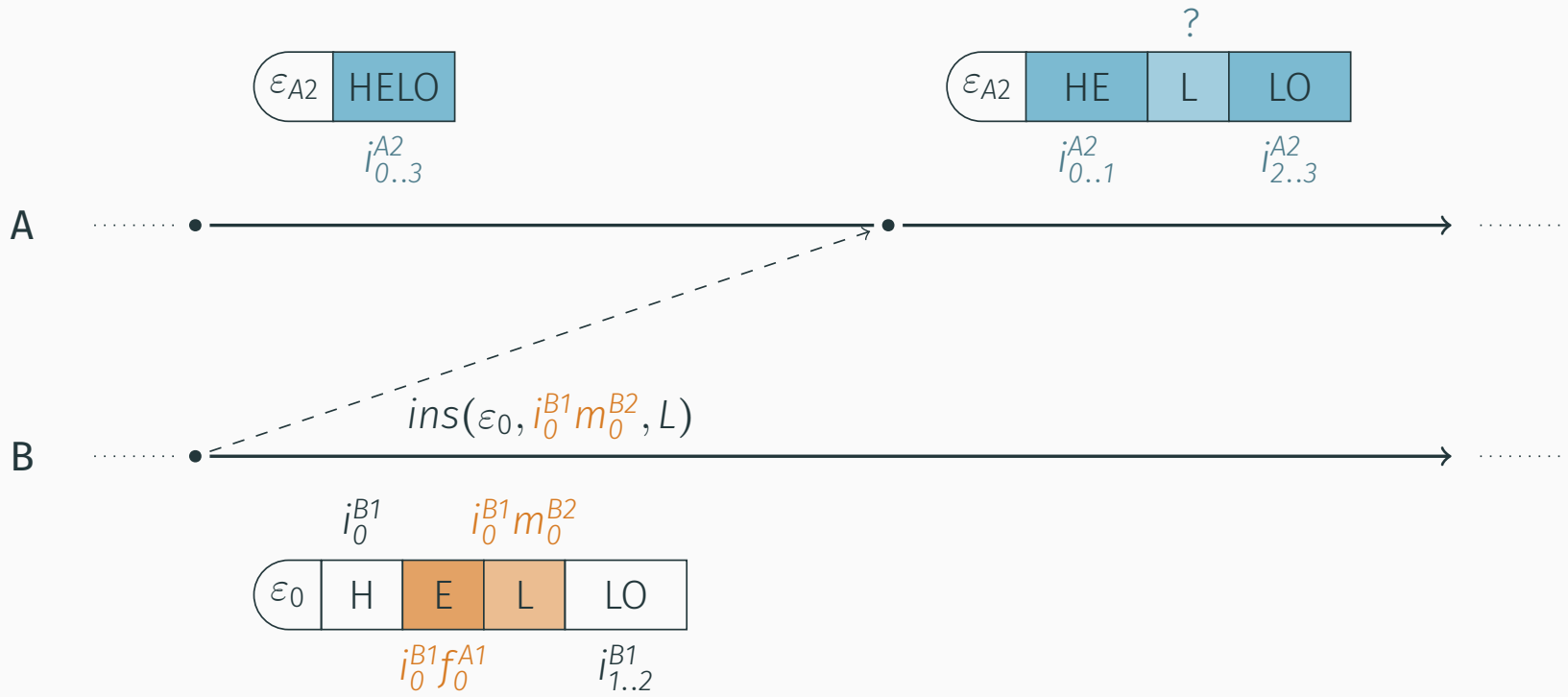
Besoins

1. Détecter les opérations concurrentes aux opérations *rename*
2. Prendre en compte effet des opérations *rename* lors de l'intégration des opérations concurrentes

Intégration des opérations *insert* et *remove* concurrentes

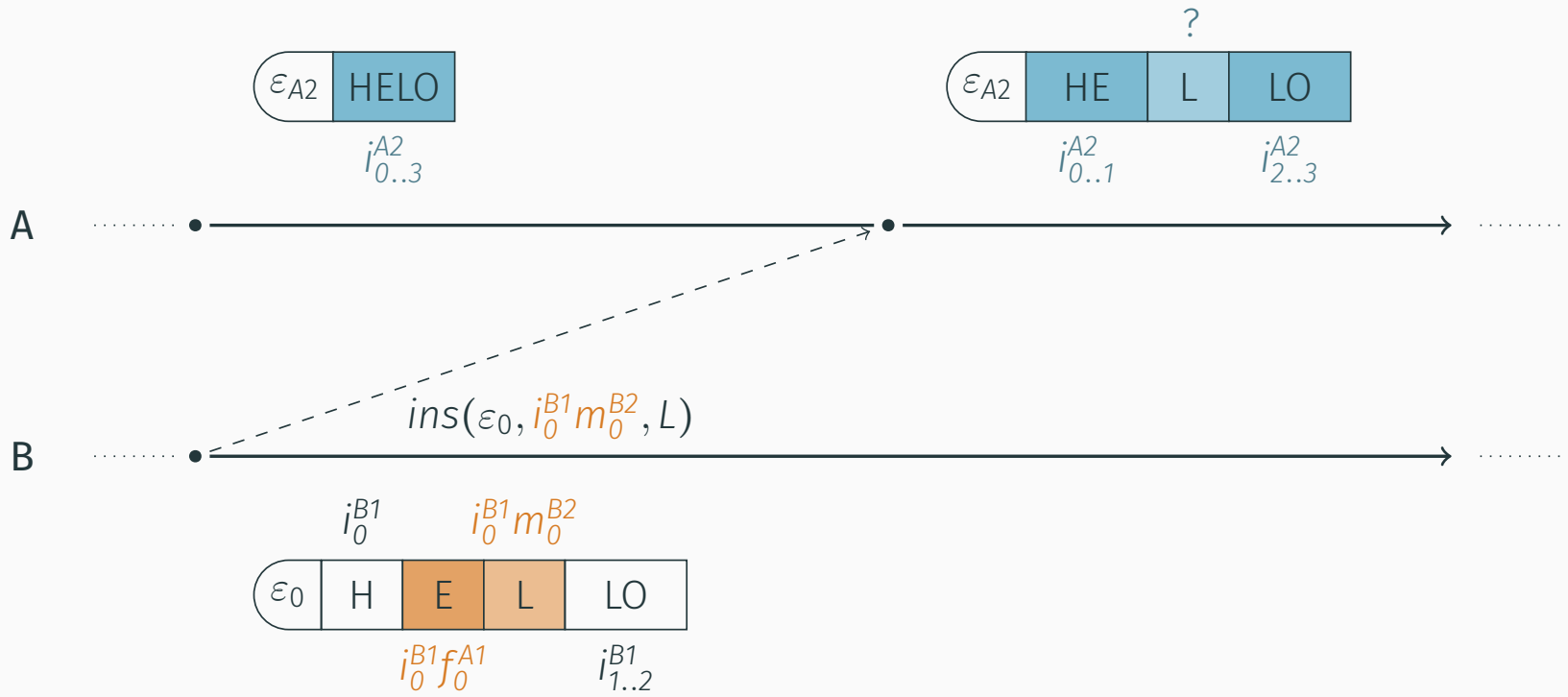


Intégration des opérations *insert* et *remove* concurrentes



Ajout d'un mécanisme de transformation des opérations *insert* et *remove* concurrentes

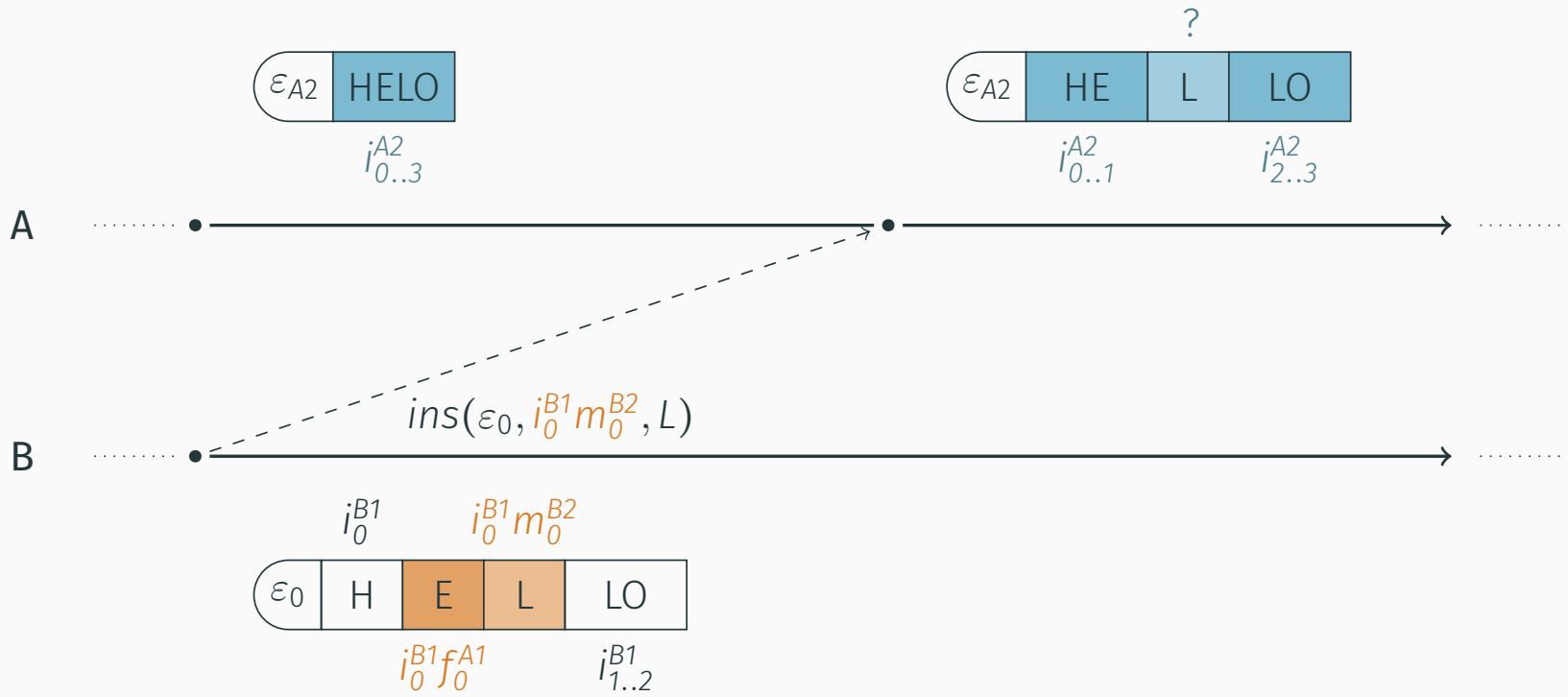
Intégration des opérations *insert* et *remove* concurrentes



Ajout d'un mécanisme de transformation des opérations *insert* et *remove* concurrentes

- Prend la forme de l'algorithme `renameId`

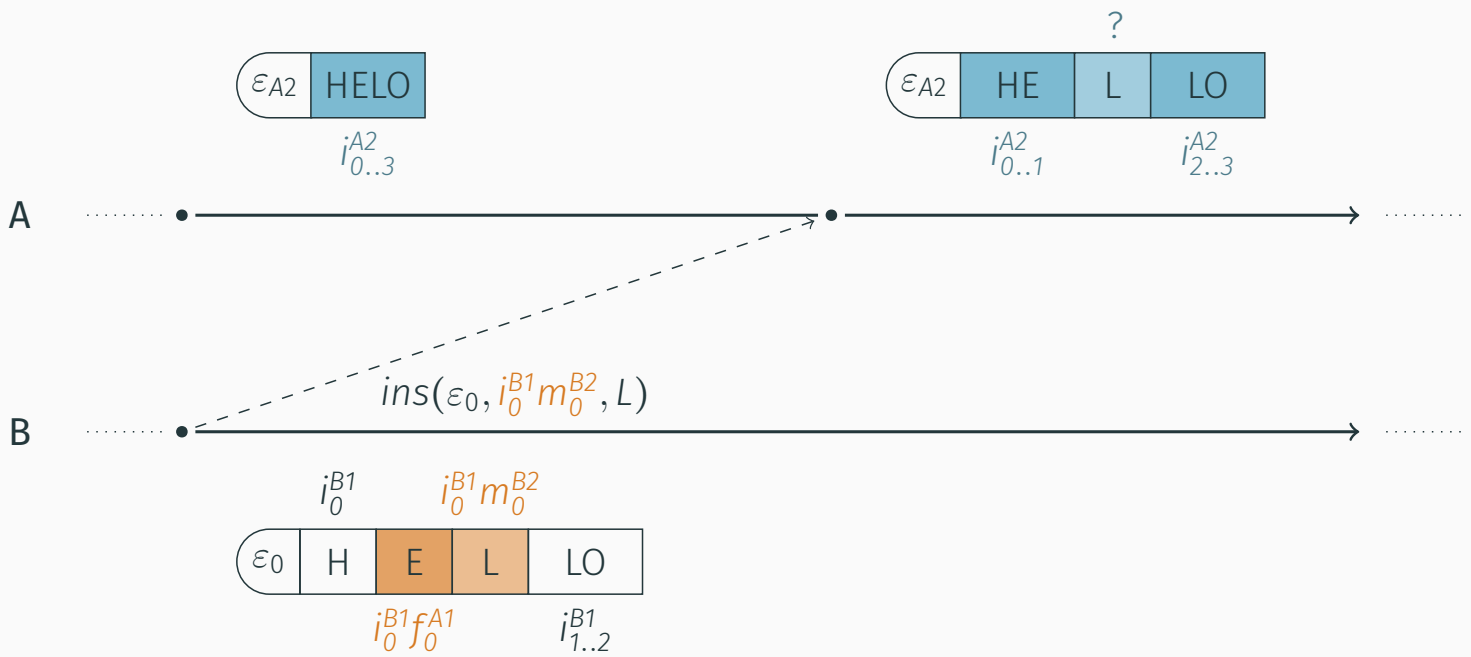
Intégration des opérations *insert* et *remove* concurrentes



Ajout d'un mécanisme de transformation des opérations *insert* et *remove* concurrentes

- Prend la forme de l'algorithme `renameId`
- Inclure l'effet de l'opération *rename* dans l'opération transformée

Exemple de `renameId`

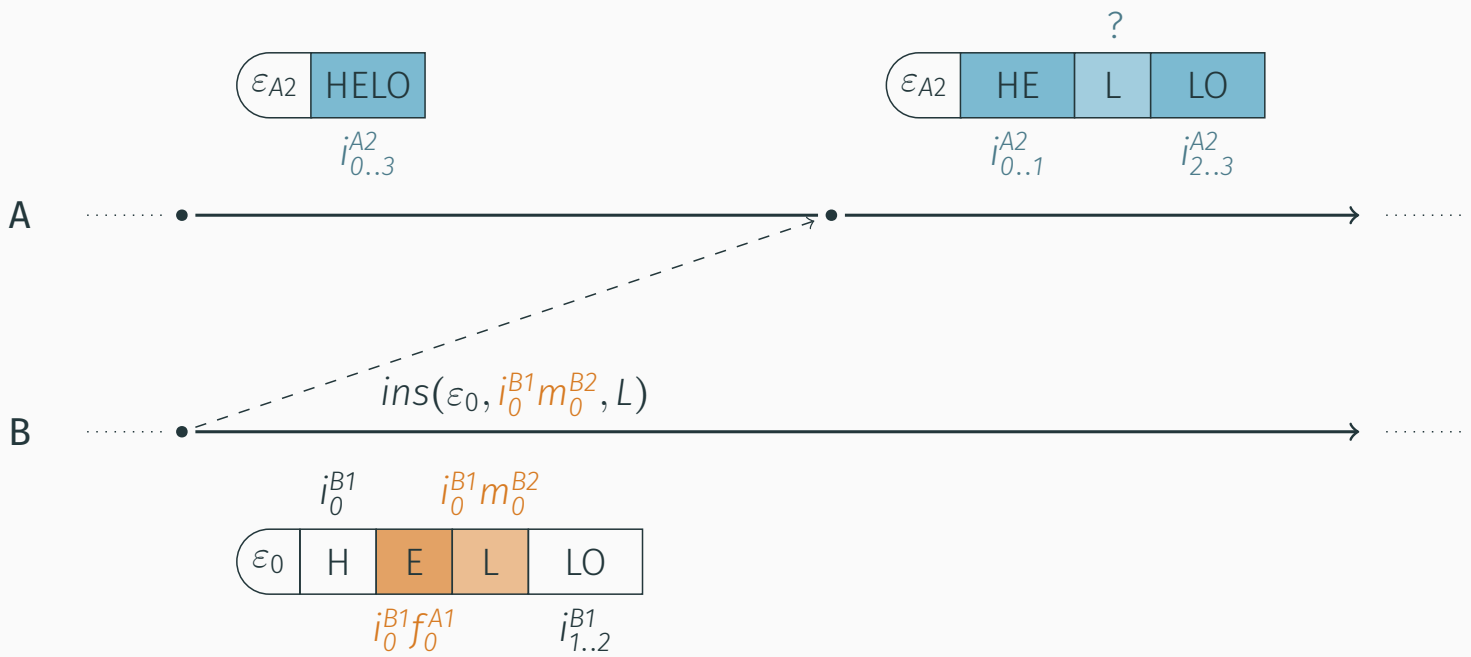


Rappel :

$$renIds_{A2} = [i^{B1}_0, i^{B1}_0 f^{A1}_0, i^{B1}_1, i^{B1}_2]$$

Exemple avec $i^{B1}_0 m^{B2}_0$

Exemple de `renameId`



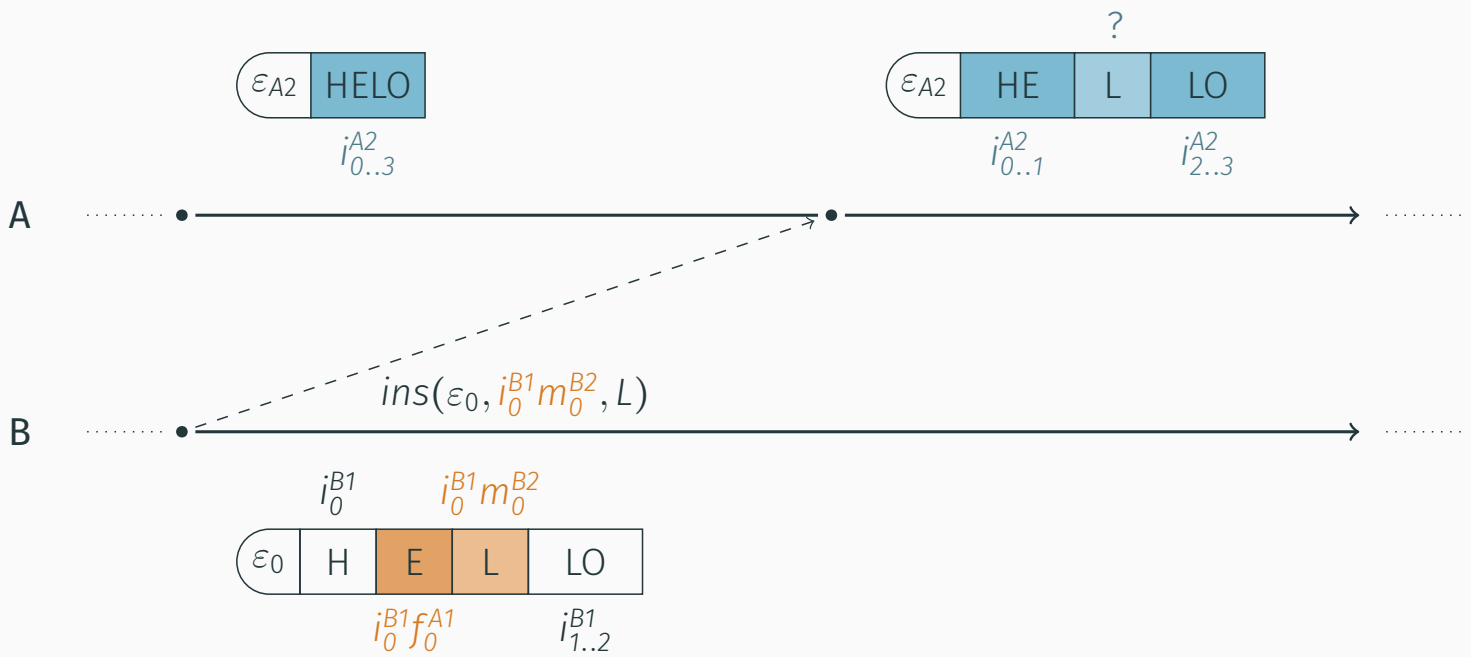
Rappel :

$$renIds_{A2} = [i^{B1}_0, i^{B1}_0 f^{A1}_0, i^{B1}_1, i^{B1}_2]$$

Exemple avec $i^{B1}_0 m^{B2}_0$

- Trouver son prédecesseur dans $renIds_{A2}$: $i^{B1}_0 f^{A1}_0$

Exemple de `renameId`



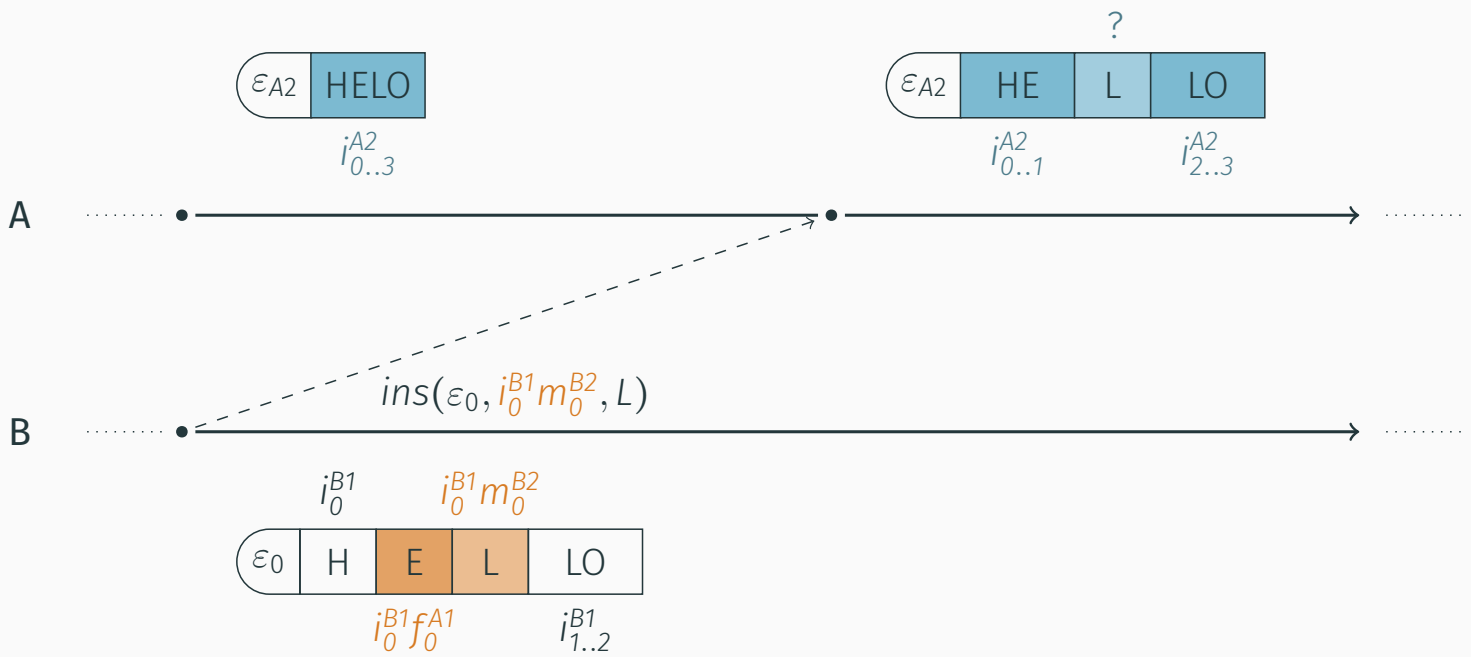
Rappel :

$$renIds_{A2} = [i^{B1}_0, i^{B1}_0 f^{A1}_0, i^{B1}_1, i^{B1}_2]$$

Exemple avec $i^{B1}_0 m^{B2}_0$

- Trouver son prédecesseur dans $renIds_{A2}$: $i^{B1}_0 f^{A1}_0$
- Trouver son équivalent à l'époque cible ε_{A2} : i^{A2}_1

Exemple de `renameId`



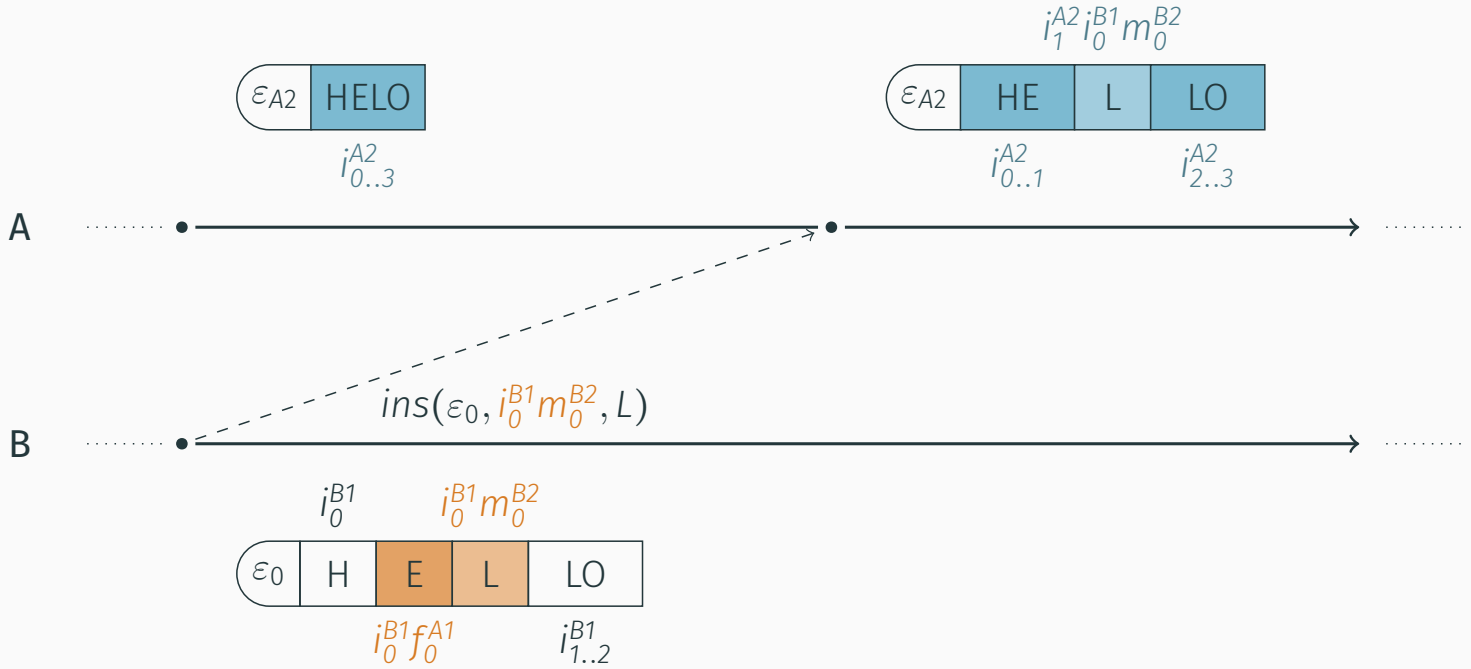
Rappel :

$$renIds_{A2} = [i^{B1}_0, i^{B1}_0 f^{A1}_0, i^{B1}_1, i^{B1}_2]$$

Exemple avec $i^{B1}_0 m^{B2}_0$

- Trouver son prédecesseur dans $renIds_{A2}$: $i^{B1}_0 f^{A1}_0$
- Trouver son équivalent à l'époque cible ε_{A2} : i^{A2}_1
- Préfixer $i^{B1}_0 m^{B2}_0$ par ce dernier : $i^{A2}_1 i^{B1}_0 m^{B2}_0$

Exemple de `renameId`



Rappel :

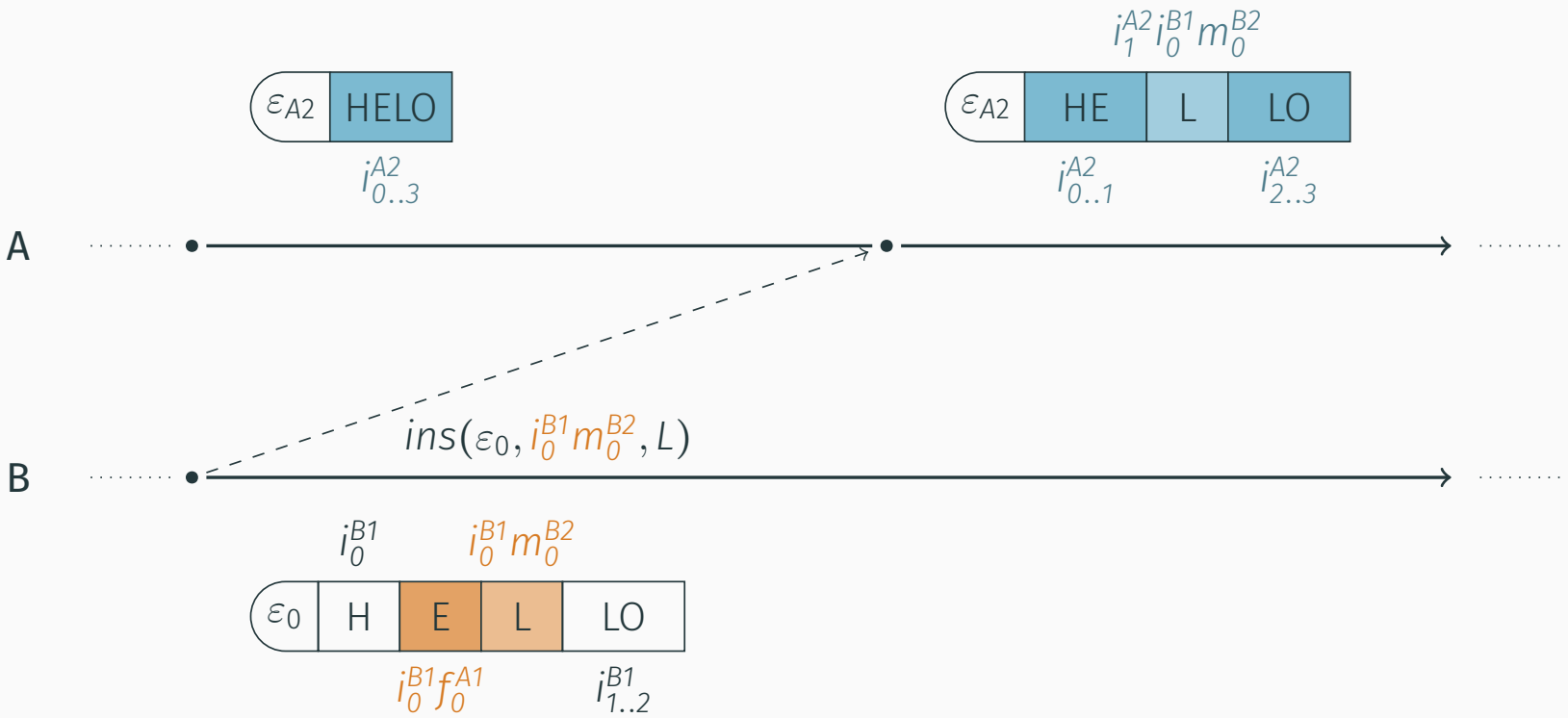
$$renIds_{A2} = [i_0^{B1}, i_0^{B1} f_0^{A1}, i_1^{B1}, i_2^{B1}]$$

Exemple avec $i_0^{B1} m_0^{B2}$

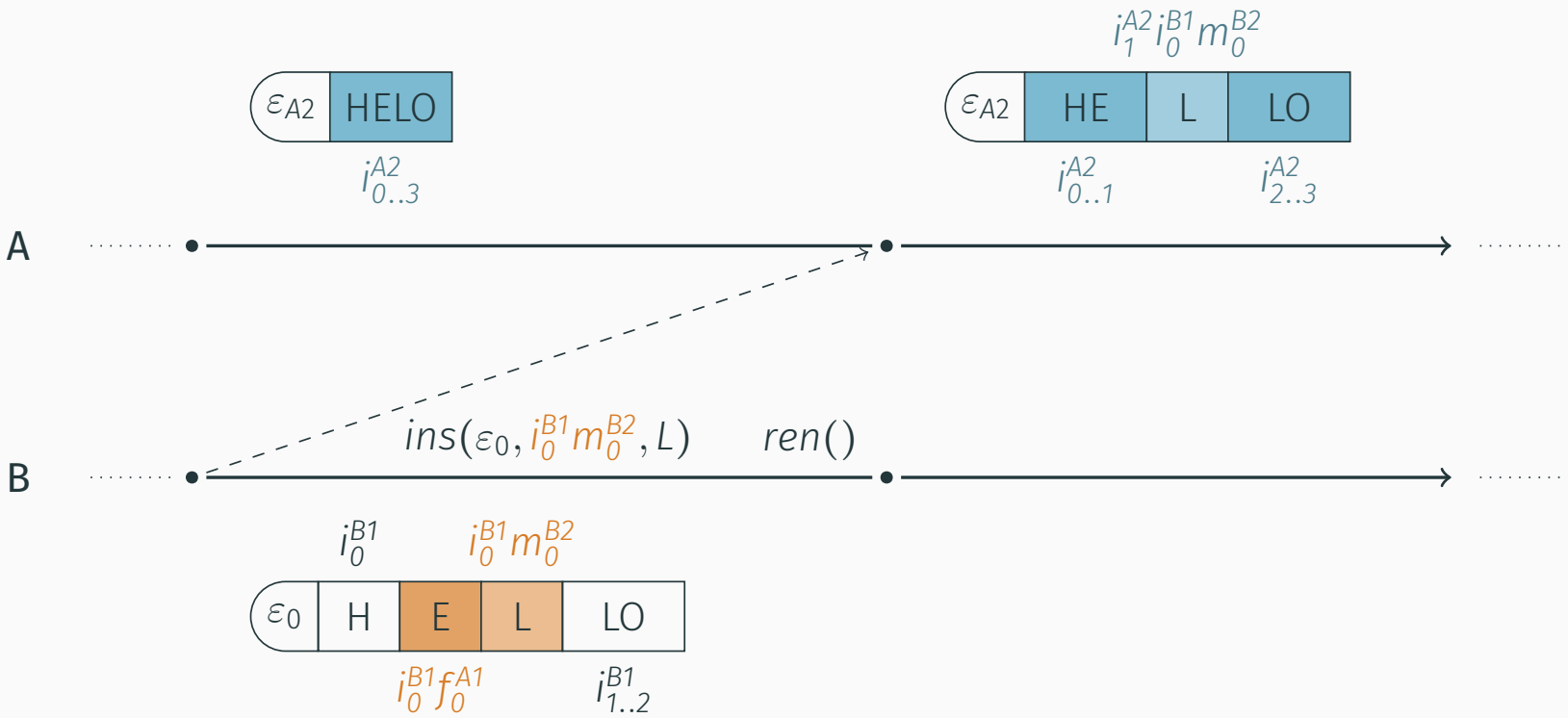
- Trouver son prédecesseur dans $renIds_{A2}$: $i_0^{B1} f_0^{A1}$
- Trouver son équivalent à l'époque cible ε_{A2} : i_1^{A2}
- Préfixer $i_0^{B1} m_0^{B2}$ par ce dernier : $i_1^{A2} i_0^{B1} m_0^{B2}$

Et en cas d’opérations *rename* concurrentes ?

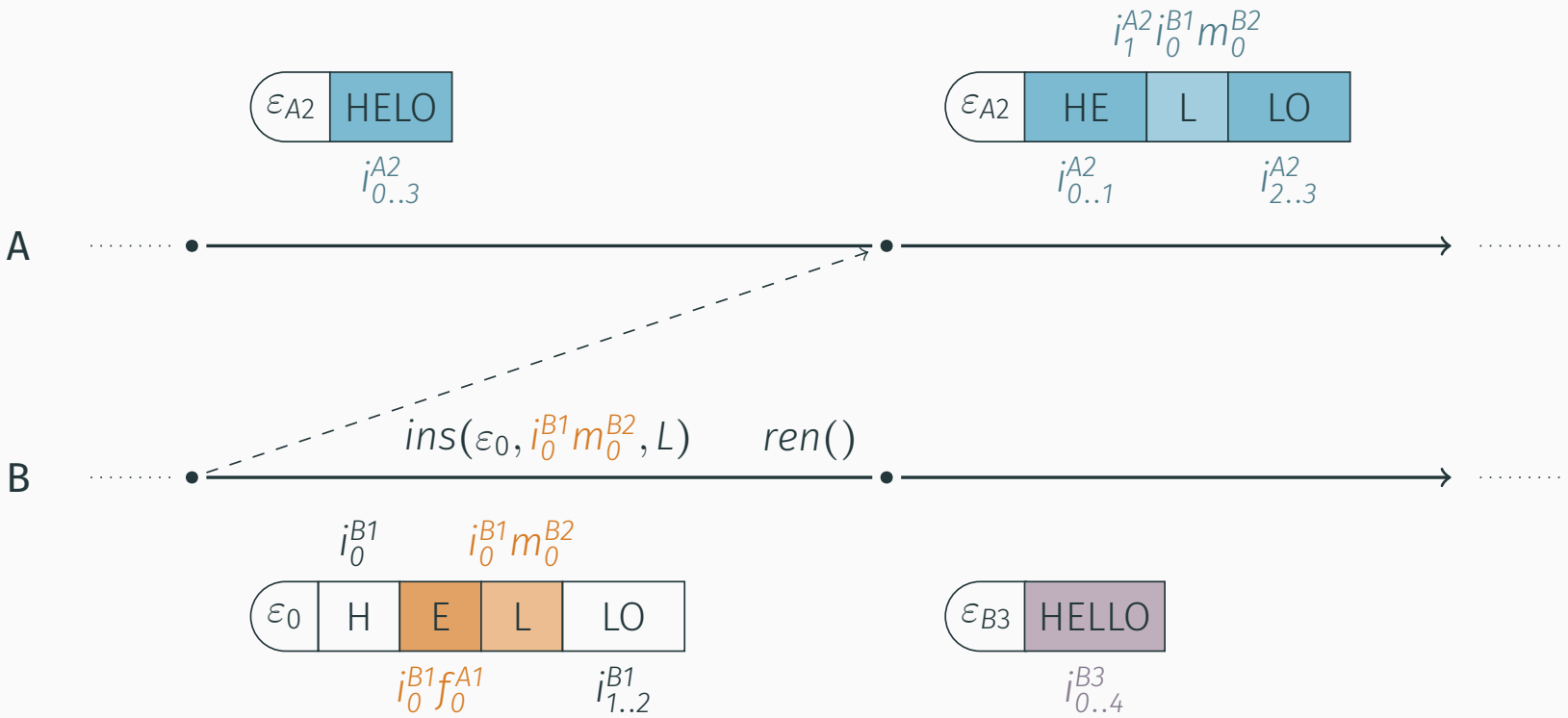
Opérations *rename* concurrentes



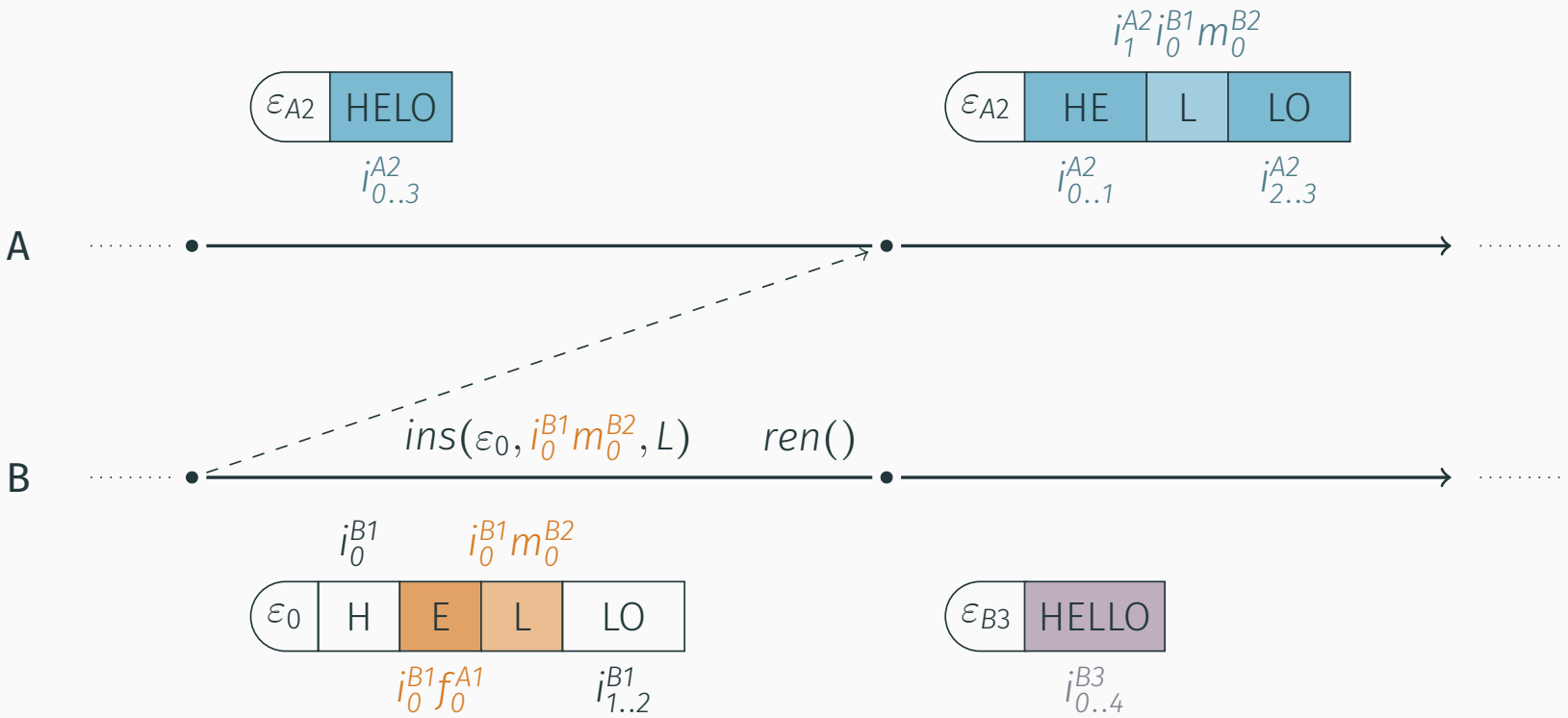
Opérations *rename* concurrentes



Opérations *rename* concurrentes

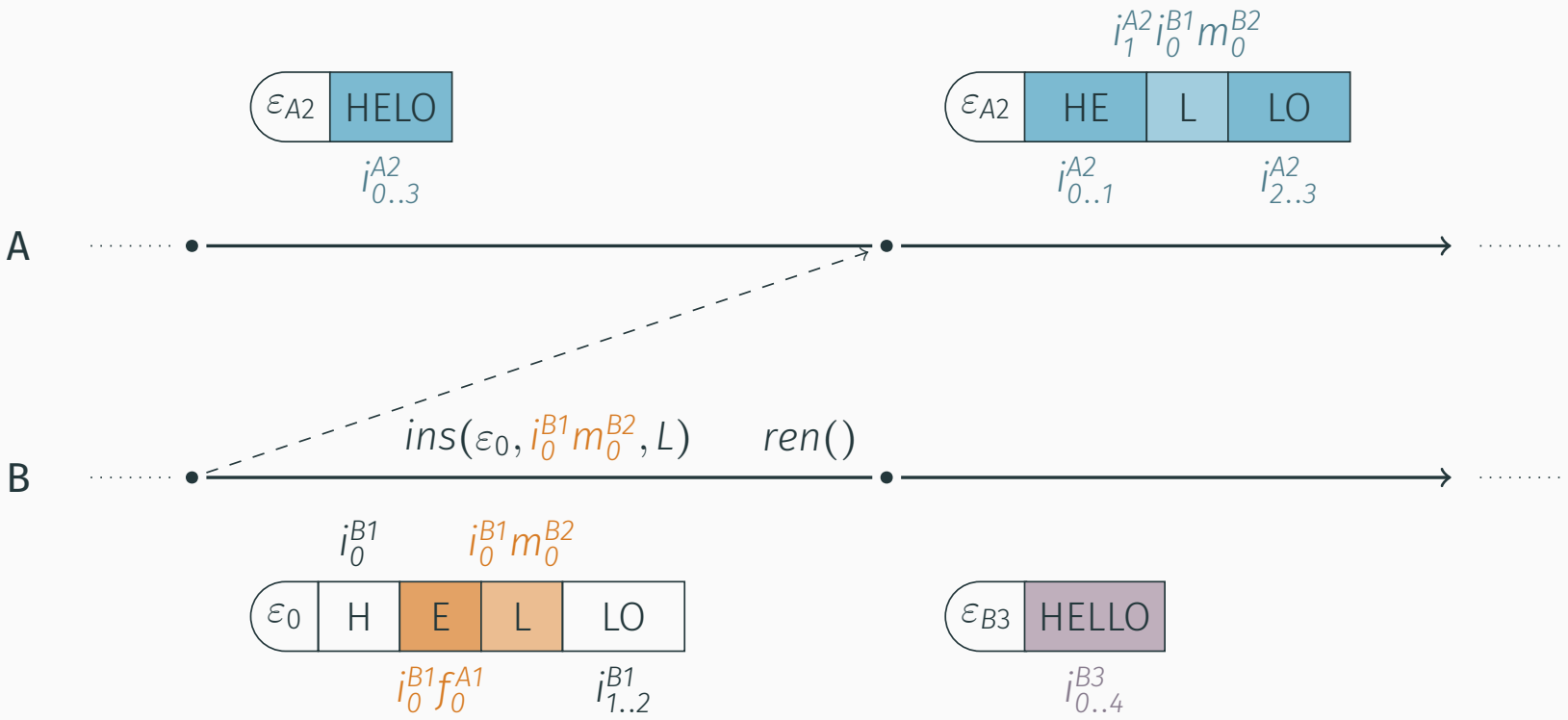


Opérations *rename* concurrentes



Comment faire converger les noeuds ?

Opérations *rename* concurrentes



Comment faire converger les noeuds ?

Besoin d'un mécanisme additionnel de résolution de conflits

Résolution de conflits entre opérations *rename* concurrentes

Observation

- Opérations *rename* sont des opérations systèmes...
- ...pas des opérations utilisateur-rices

Résolution de conflits entre opérations *rename* concurrentes

Observation

- Opérations *rename* sont des opérations systèmes...
- ...pas des opérations utilisateur-rices

Proposition

- Considérer une opération *rename* comme prioritaire...
- ...et ignorer les opérations *rename* en conflit avec elle

Algorithme d’intégration d’une opération *rename*

Intuition

Algorithme d'intégration d'une opération *rename*

Intuition

1. Ajouter l'époque créée par l'opération *rename* à l'ensemble des époques connues

Algorithme d'intégration d'une opération *rename*

Intuition

1. Ajouter l'époque créée par l'opération *rename* à l'ensemble des époques connues
2. Choisir entre époque courante et nouvelle époque l'époque cible

Algorithme d'intégration d'une opération *rename*

Intuition

1. Ajouter l'époque créée par l'opération *rename* à l'ensemble des époques connues
2. Choisir entre époque courante et nouvelle époque l'époque cible
3. Si changement d'époque cible

Algorithme d'intégration d'une opération *rename*

Intuition

1. Ajouter l'époque créée par l'opération *rename* à l'ensemble des époques connues
2. Choisir entre époque courante et nouvelle époque l'époque cible
3. Si changement d'époque cible
   - 3.1 Calculer chemin entre époque courante et époque cible, et notamment leur Plus Proche Ancêtre Commun (PPAC)

Algorithme d'intégration d'une opération *rename*

Intuition

1. Ajouter l'époque créée par l'opération *rename* à l'ensemble des époques connues
2. Choisir entre époque courante et nouvelle époque l'époque cible
3. Si changement d'époque cible
   - 3.1 Calculer chemin entre époque courante et époque cible, et notamment leur Plus Proche Ancêtre Commun (PPAC)
   - 3.2 Annuler l'effet des opérations *rename* de l'époque courante au PPAC

Algorithme d'intégration d'une opération *rename*

Intuition

1. Ajouter l'époque créée par l'opération *rename* à l'ensemble des époques connues
2. Choisir entre époque courante et nouvelle époque l'époque cible
3. Si changement d'époque cible
   - 3.1 Calculer chemin entre époque courante et époque cible, et notamment leur Plus Proche Ancêtre Commun (PPAC)
   - 3.2 Annuler l'effet des opérations *rename* de l'époque courante au PPAC
   - 3.3 Appliquer l'effet des opérations *rename* du PPAC à l'époque cible

Algorithme d'intégration d'une opération *rename*

Intuition

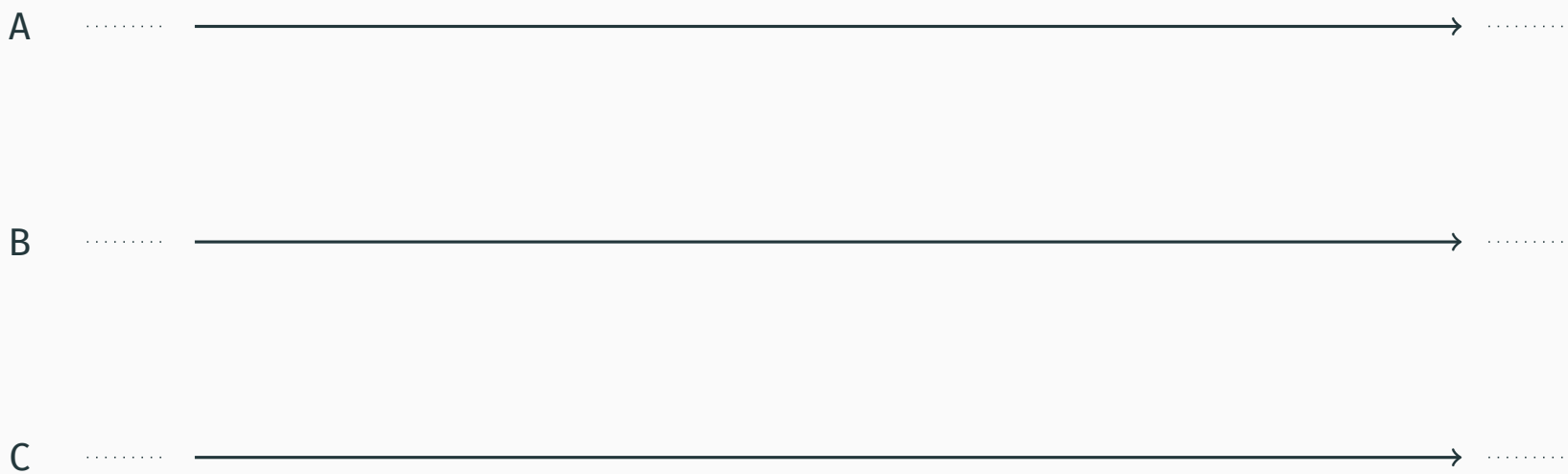
1. Ajouter l'époque créée par l'opération *rename* à l'ensemble des époques connues
2. Choisir entre époque courante et nouvelle époque l'époque cible
3. Si changement d'époque cible
   - 3.1 Calculer chemin entre époque courante et époque cible, et notamment leur Plus Proche Ancêtre Commun (PPAC)
   - 3.2 Annuler l'effet des opérations *rename* de l'époque courante au PPAC
   - 3.3 Appliquer l'effet des opérations *rename* du PPAC à l'époque cible

Algorithme d'intégration d'une opération *rename*

Intuition

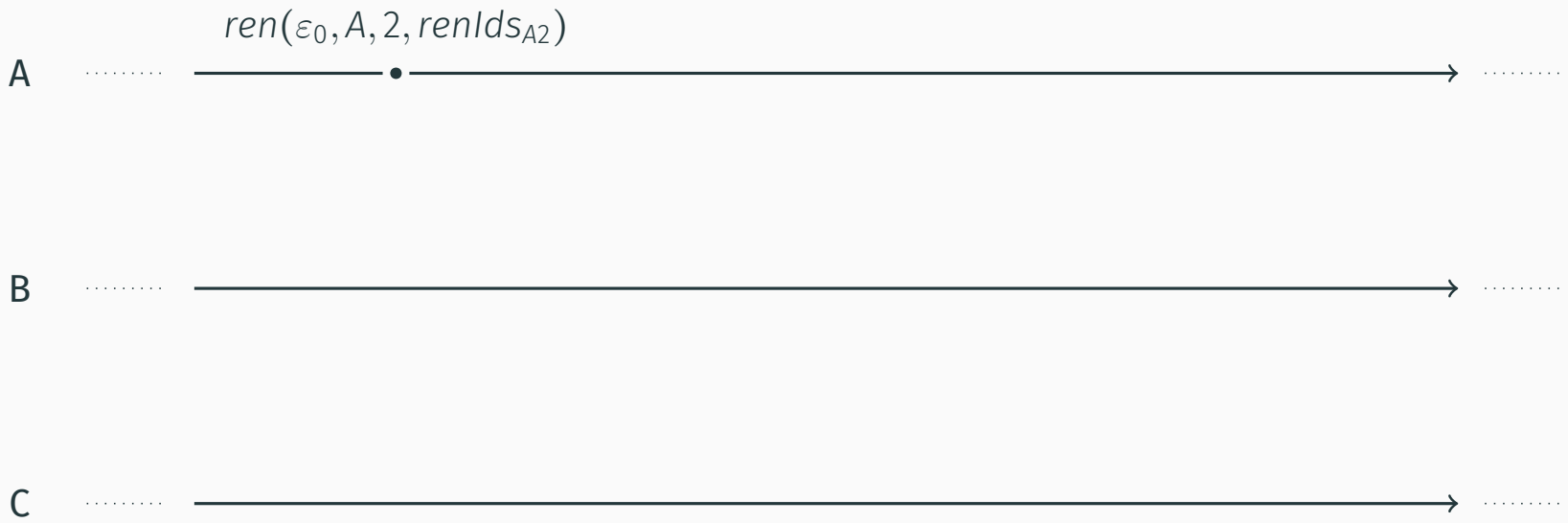
1. Ajouter l'époque créée par l'opération *rename* à l'ensemble des époques connues
2. Choisir entre époque courante et nouvelle époque l'époque cible
3. Si changement d'époque cible
   - 3.1 Calculer chemin entre époque courante et époque cible, et notamment leur Plus Proche Ancêtre Commun (PPAC)
   - 3.2 Annuler l'effet des opérations *rename* de l'époque courante au PPAC
   - 3.3 Appliquer l'effet des opérations *rename* du PPAC à l'époque cible

Choisir une époque comme époque cible

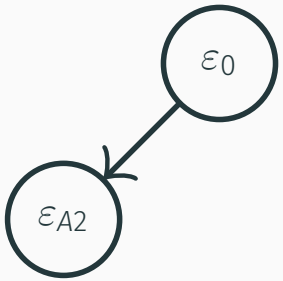


Arbre des époques

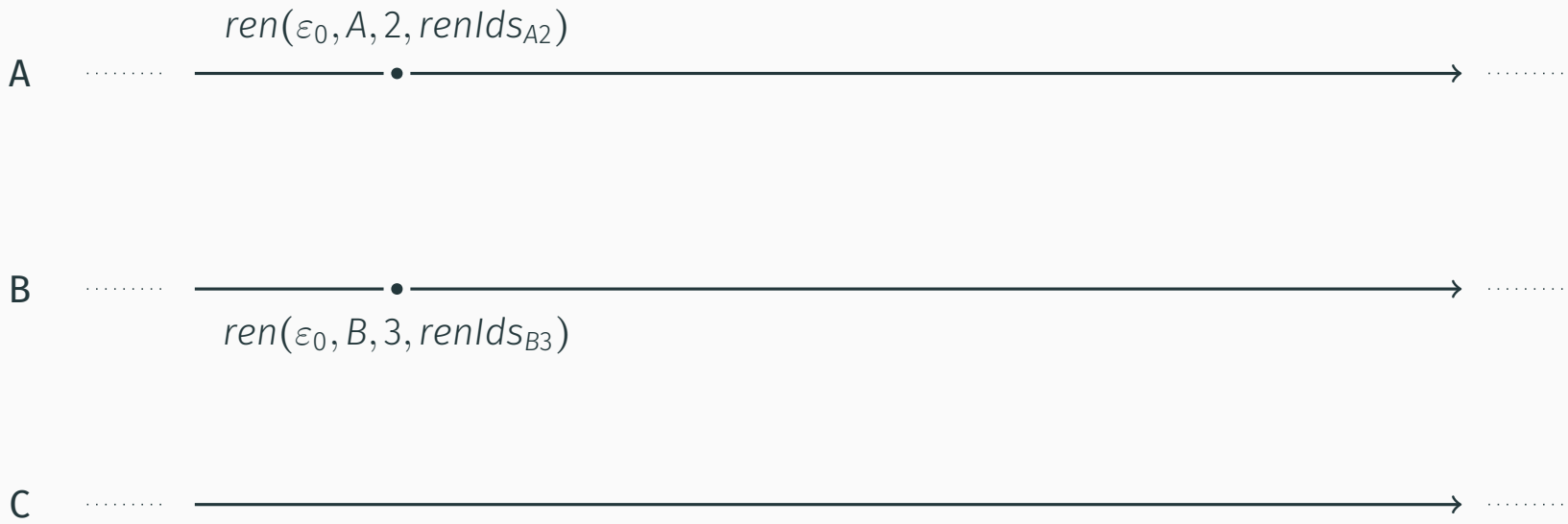
Choisir une époque comme époque cible



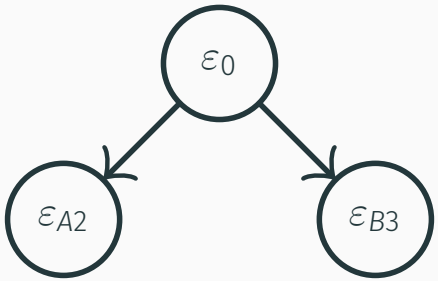
Arbre des époques



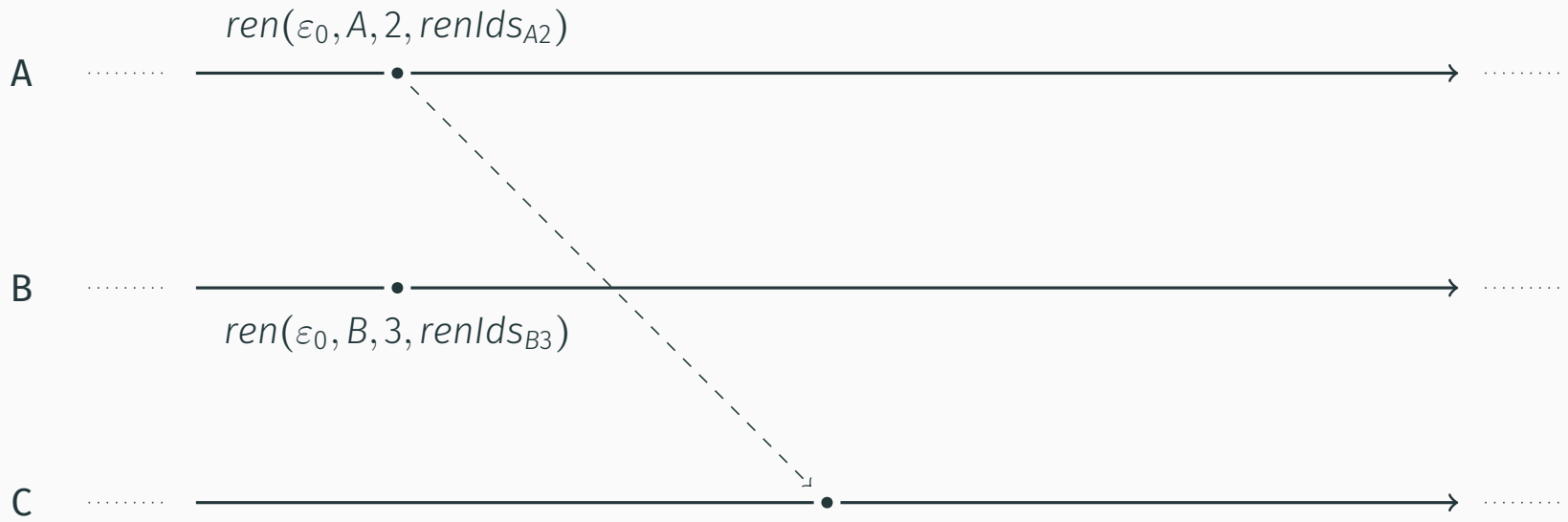
Choisir une époque comme époque cible



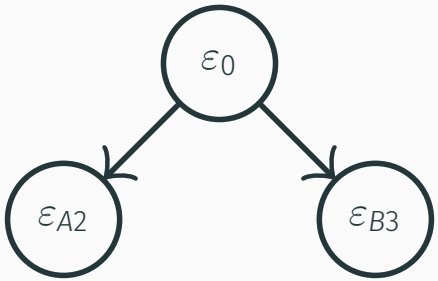
Arbre des époques



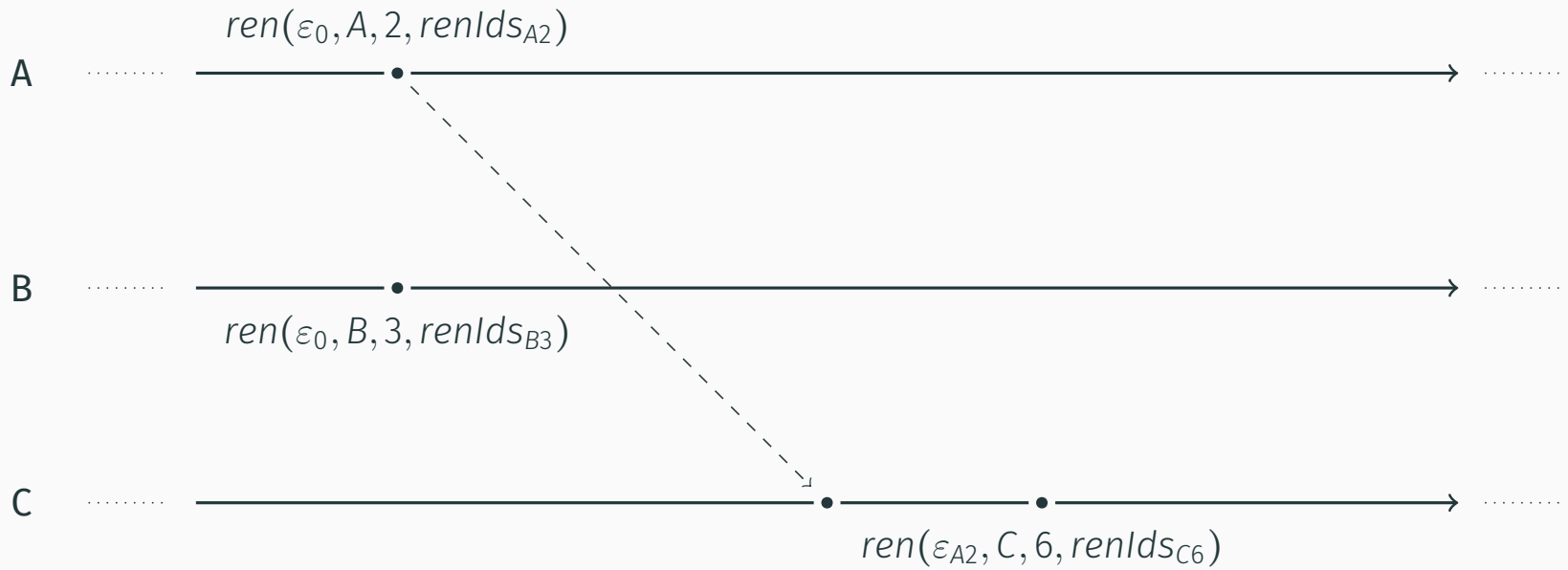
Choisir une époque comme époque cible



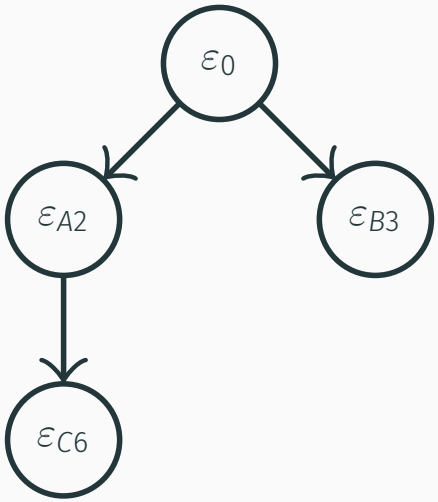
Arbre des époques



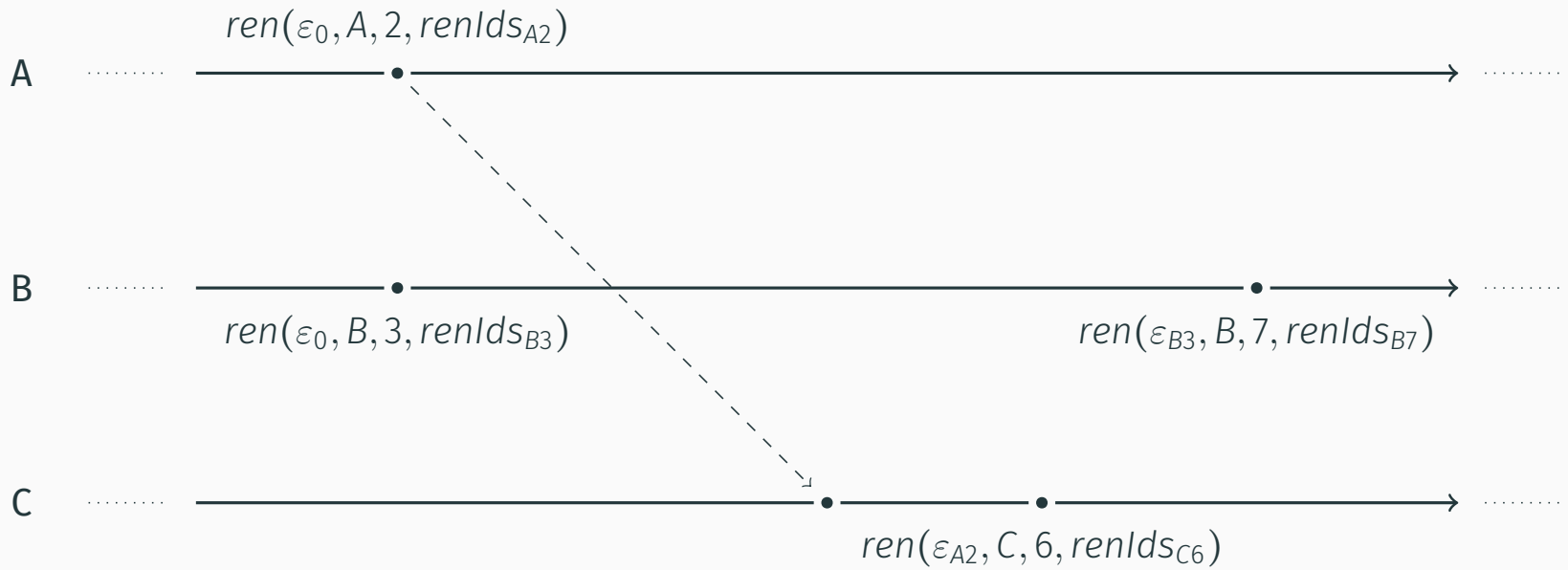
Choisir une époque comme époque cible



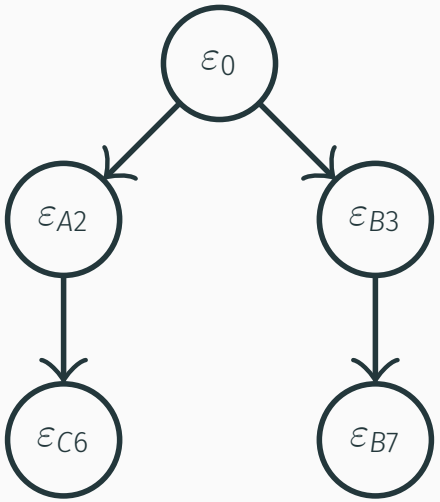
Arbre des époques



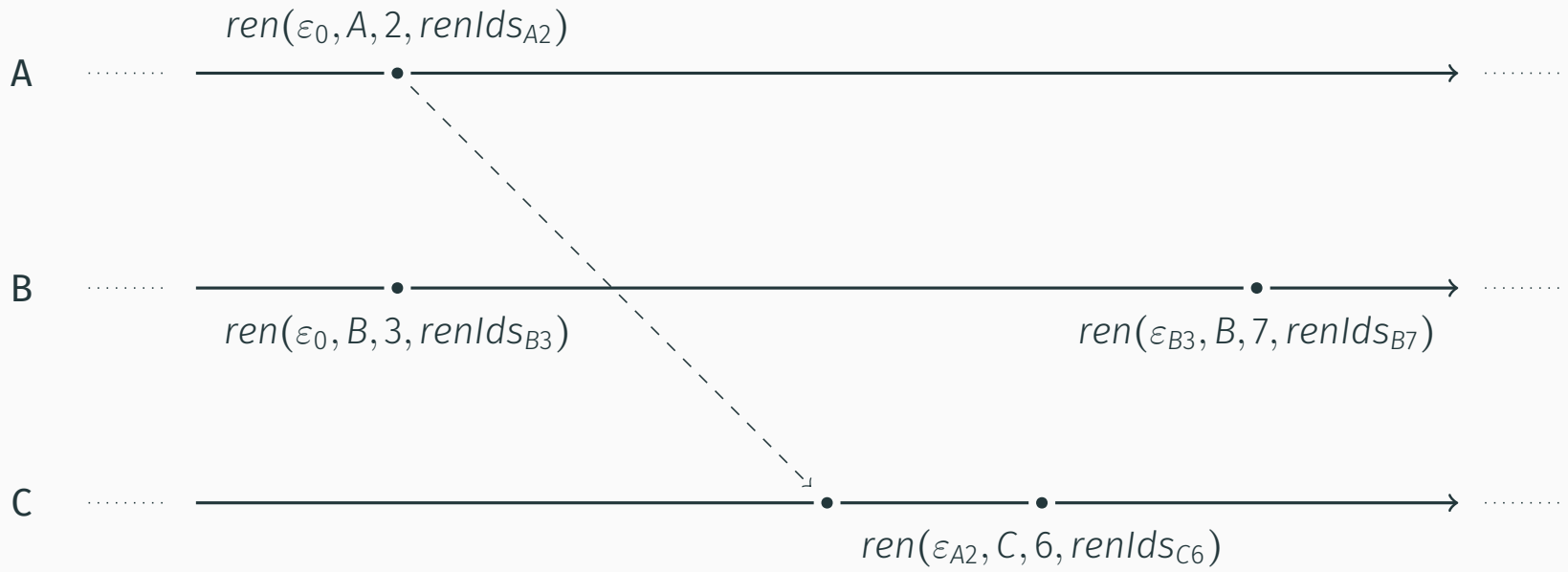
Choisir une époque comme époque cible



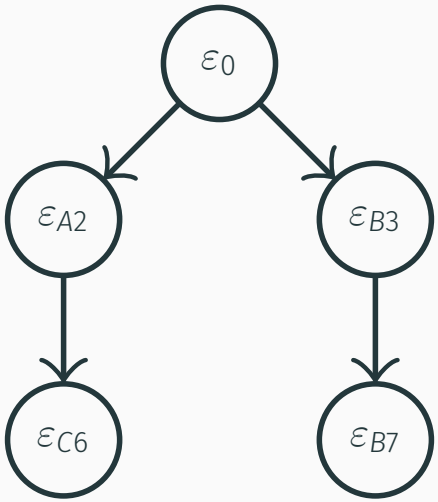
Arbre des époques



Choisir une époque comme époque cible

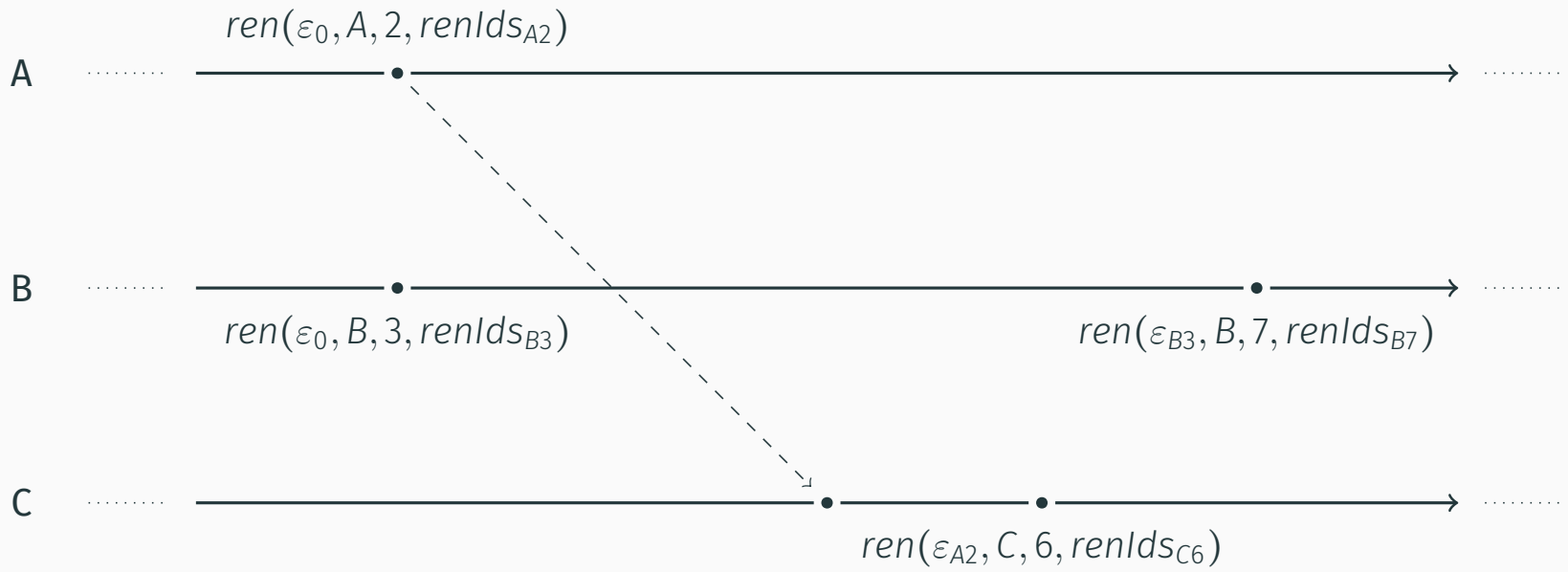


Arbre des époques

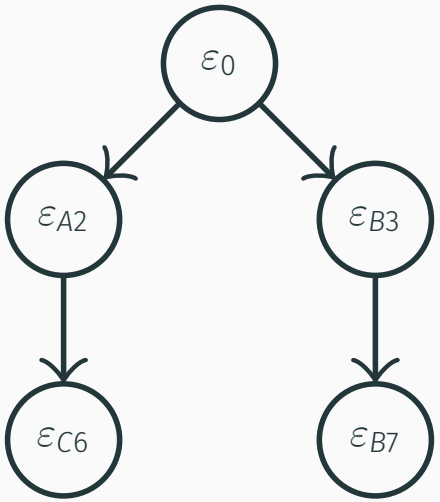


Comment choisir ?

Choisir une époque comme époque cible



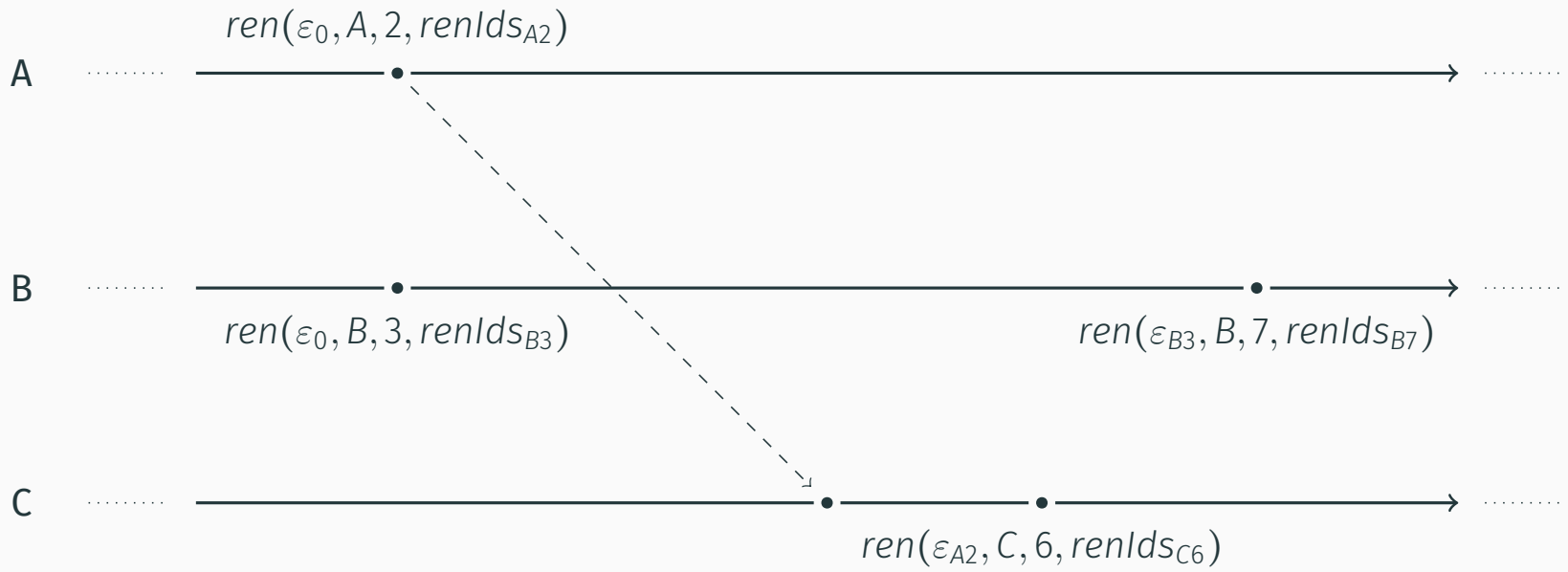
Arbre des époques



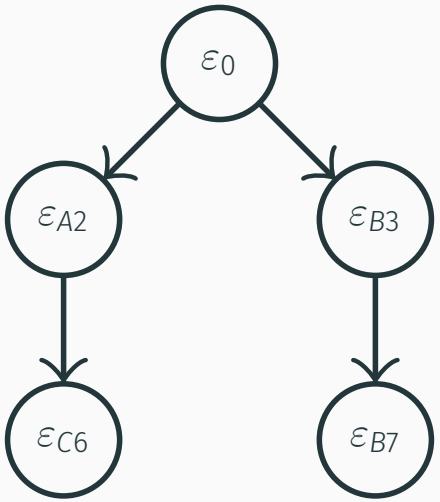
Comment choisir ?

- Définit relation *priority*, notée $<_\varepsilon$, ordre strict total sur les époques

Choisir une époque comme époque cible



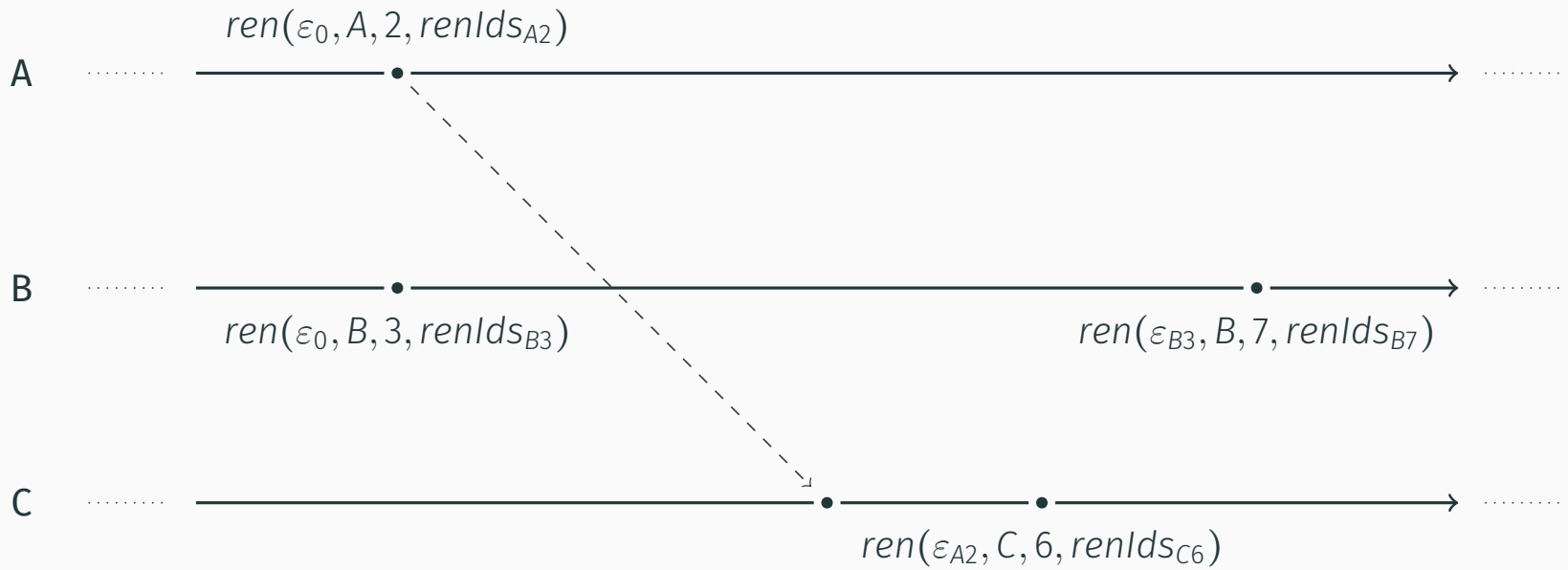
Arbre des époques



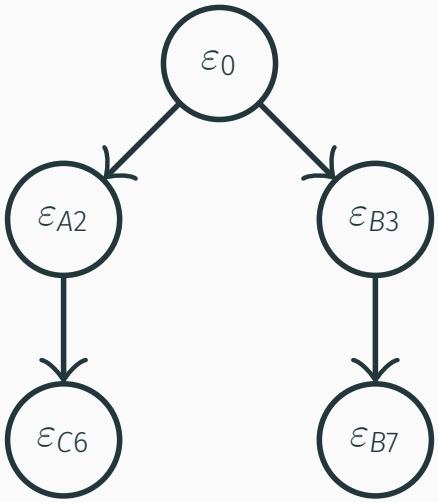
Comment choisir ?

- Définit relation *priority*, notée $<_\varepsilon$, ordre strict total sur les époques
- Utilise ordre lexicographique sur chemins des époques dans l'arbre

Choisir une époque comme époque cible



Arbre des époques



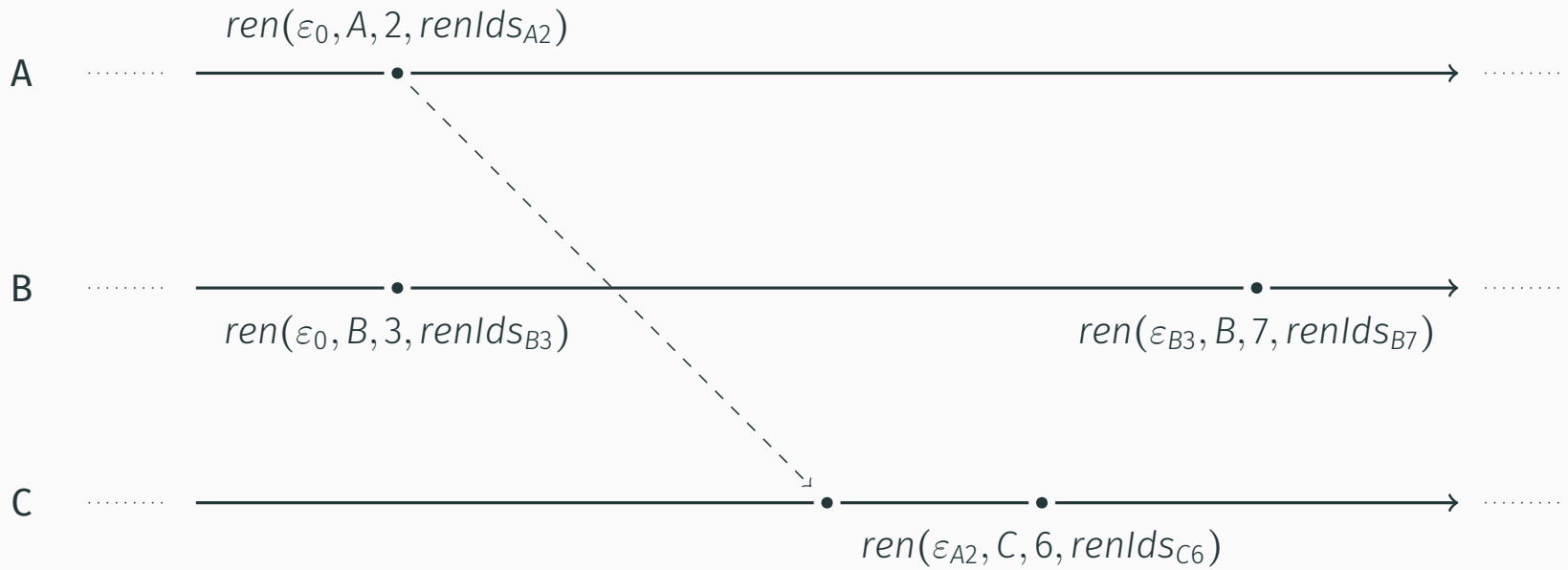
Comment choisir ?

- Définit relation *priority*, notée $<_\varepsilon$, ordre strict total sur les époques
- Utilise ordre lexicographique sur chemins des époques dans l'arbre

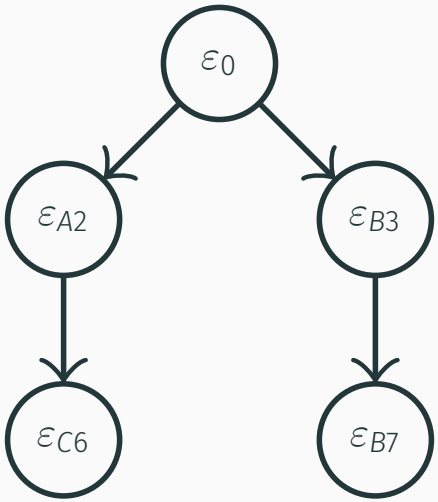
Exemple

$$\varepsilon_0 < \varepsilon_0\varepsilon_{A2}$$

Choisir une époque comme époque cible



Arbre des époques



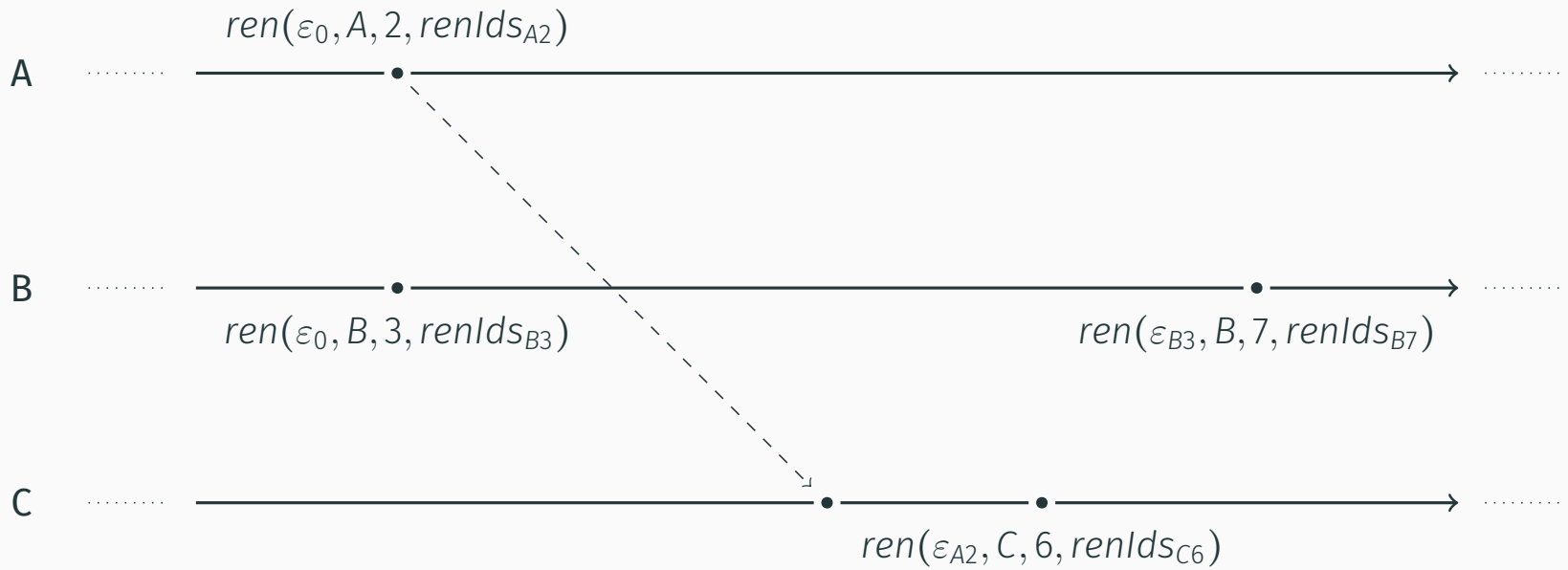
Comment choisir ?

- Définit relation *priority*, notée $<_\varepsilon$, ordre strict total sur les époques
- Utilise ordre lexicographique sur chemins des époques dans l'arbre

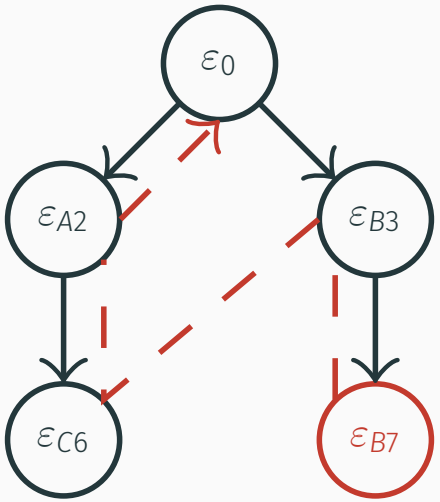
Exemple

$$\varepsilon_0 < \varepsilon_0\varepsilon_{A2} < \varepsilon_0\varepsilon_{A2}\varepsilon_{C6}$$

Choisir une époque comme époque cible



Arbre des époques



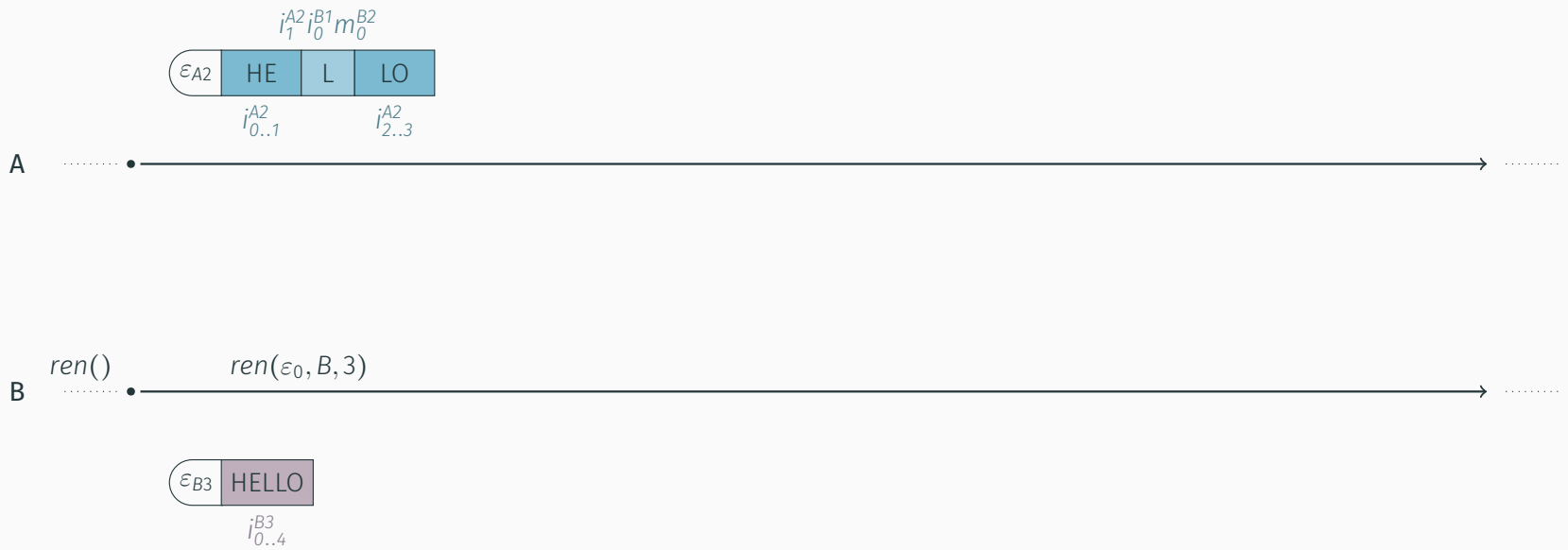
Comment choisir ?

- Définit relation *priority*, notée $<_\varepsilon$, ordre strict total sur les époques
- Utilise ordre lexicographique sur chemins des époques dans l'arbre

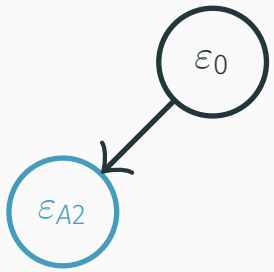
Exemple

$$\varepsilon_0 < \varepsilon_0\varepsilon_{A2} < \varepsilon_0\varepsilon_{A2}\varepsilon_{C6} < \varepsilon_0\varepsilon_{B3}\varepsilon_{B7}$$

Exemple - Calculs des transformations à effectuer



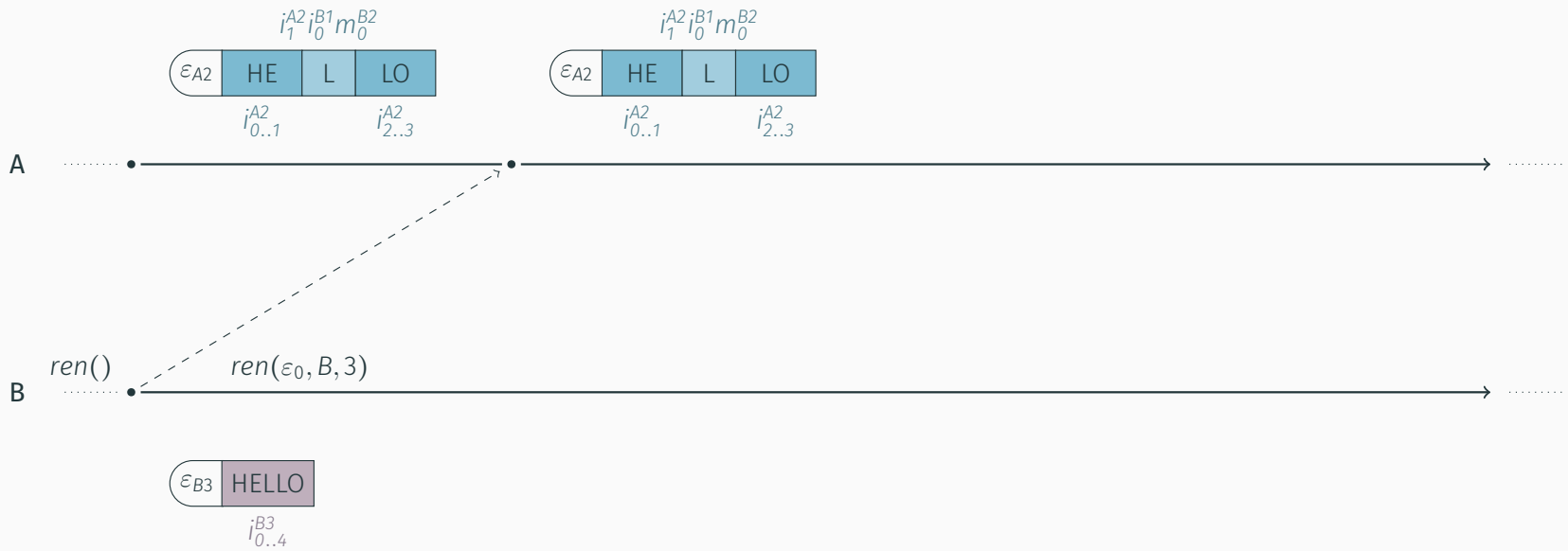
Arbre des époques de A



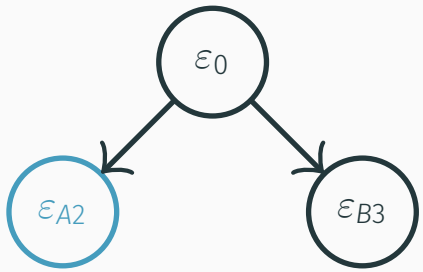
Étapes

- Époque courante : ε_{A2}

Exemple - Calculs des transformations à effectuer



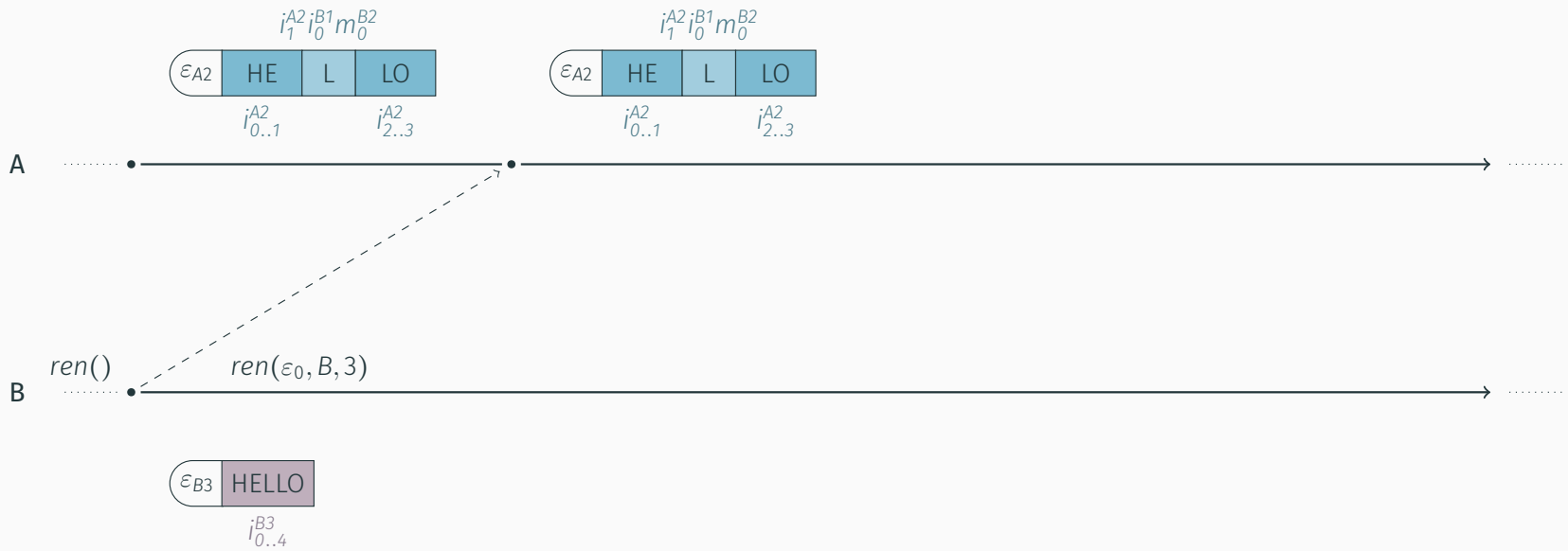
Arbre des époques de A



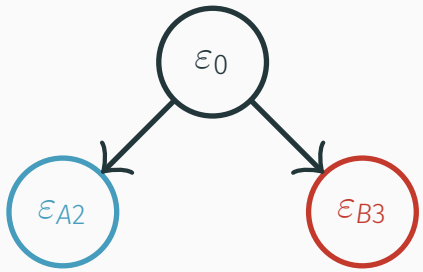
Étapes

- Époque courante : ε_{A2}

Exemple - Calculs des transformations à effectuer



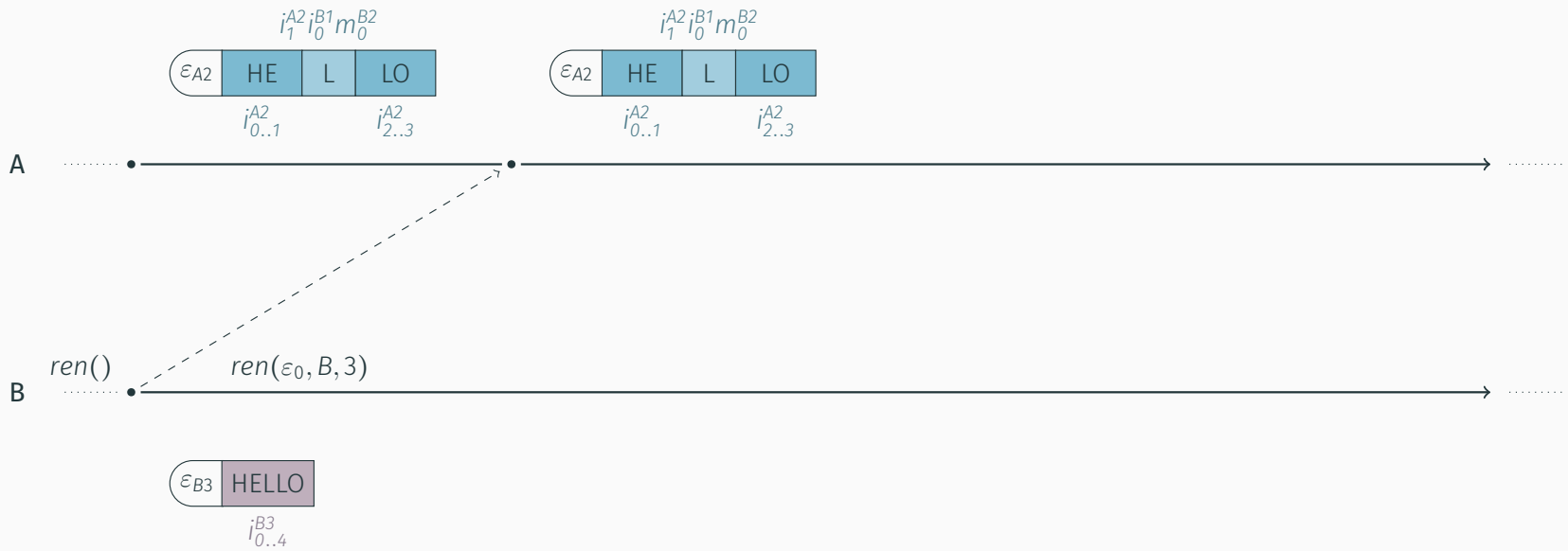
Arbre des époques de A



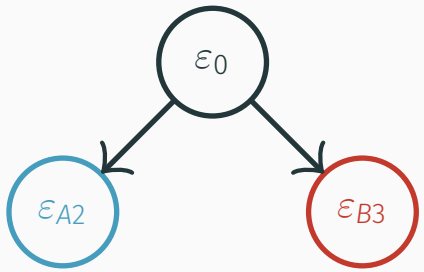
Étapes

- Époque courante : ε_{A2}
- Époque cible : ε_{B3}

Exemple - Calculs des transformations à effectuer



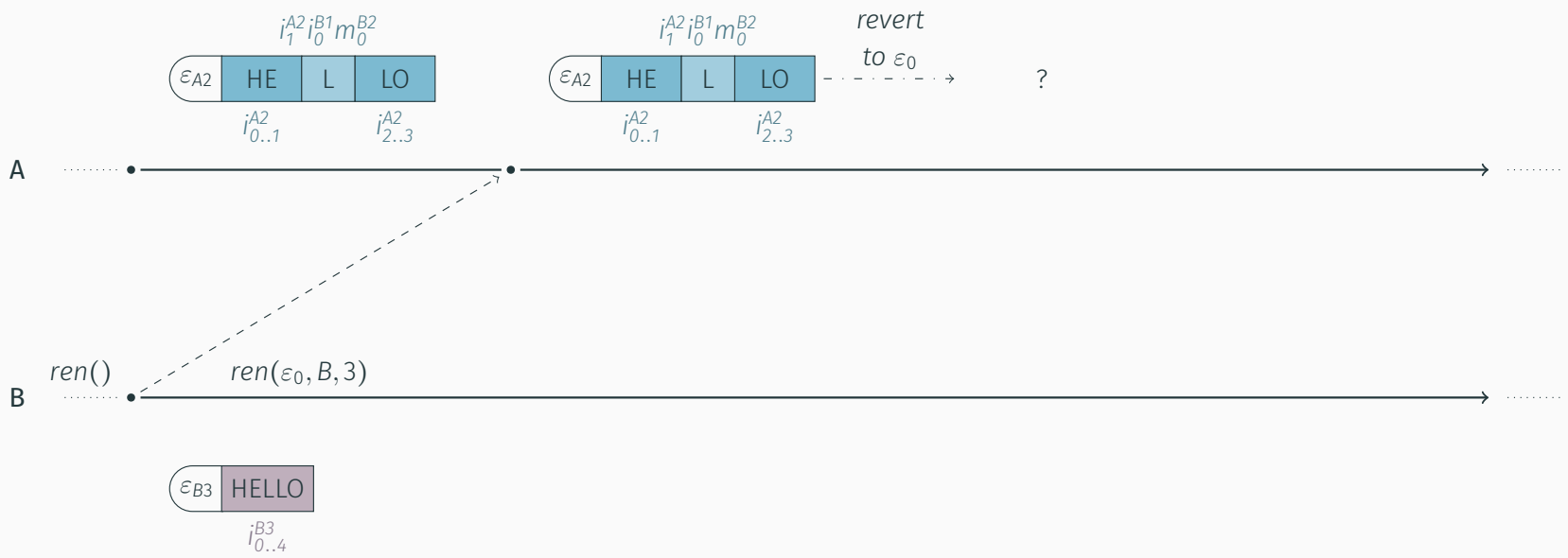
Arbre des époques de A



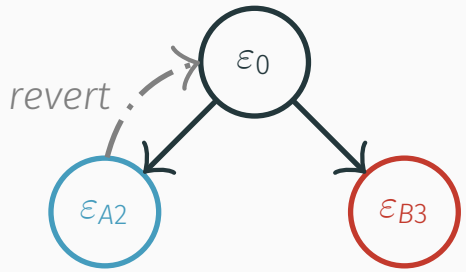
Étapes

- Époque courante : ε_{A2}
- Époque cible : ε_{B3}
- Plus Proche Ancêtre Commun : ε_0

Exemple - Calculs des transformations à effectuer



Arbre des époques de A

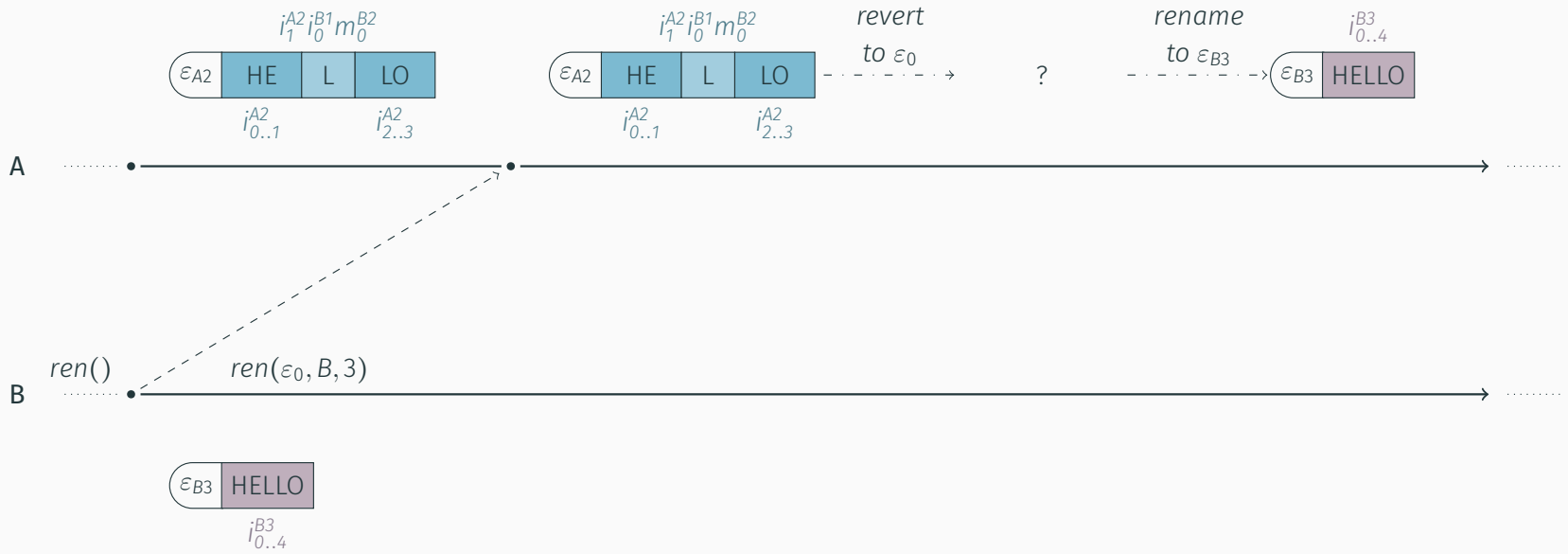


Étapes

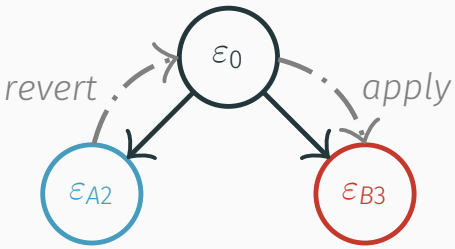
- Époque courante : ε_{A2}
- Époque cible : ε_{B3}
- Plus Proche Ancêtre Commun : ε_0

Doit annuler ε_{A2}

Exemple - Calculs des transformations à effectuer



Arbre des époques de A



Étapes

- Époque courante : ε_{A2}
- Époque cible : ε_{B3}
- Plus Proche Ancêtre Commun : ε_0

Doit annuler ε_{A2} puis appliquer ε_{B3}

Algorithme d'intégration d'une opération *rename*

Intuition

1. Ajouter l'époque créée par l'opération *rename* à l'ensemble des époques connues
2. Choisir entre époque courante et nouvelle époque l'époque cible
3. Si changement d'époque cible
   - 3.1 Calculer chemin entre époque courante et époque cible, et notamment leur Plus Proche Ancêtre Commun (PPAC)
   - 3.2 Annuler l'effet des opérations *rename* de l'époque courante au PPAC
   - 3.3 Appliquer l'effet des opérations *rename* du PPAC à l'époque cible

Algorithme d'intégration d'une opération *rename*

Intuition

1. Ajouter l'époque créée par l'opération *rename* à l'ensemble des époques connues
2. Choisir entre époque courante et nouvelle époque l'époque cible
3. Si changement d'époque cible
   - 3.1 Calculer chemin entre époque courante et époque cible, et notamment leur Plus Proche Ancêtre Commun (PPAC)
   - 3.2 Annuler l'effet des opérations *rename* de l'époque courante au PPAC
   - 3.3 Appliquer l'effet des opérations *rename* du PPAC à l'époque cible

Annuler l’effet d’une opération *rename*

Ajout d’un nouveau mécanisme de transformation

Annuler l’effet d’une opération *rename*

Ajout d’un nouveau mécanisme de transformation

- Prend la forme de l’algorithme *revertRenameId*

Annuler l'effet d'une opération *rename*

Ajout d'un nouveau mécanisme de transformation

- Prend la forme de l'algorithme *revertRenameId*
- Exclure l'effet de l'opération *rename*

Annuler l'effet d'une opération *rename*

Ajout d'un nouveau mécanisme de transformation

- Prend la forme de l'algorithme *revertRenameId*
- Exclure l'effet de l'opération *rename*

Intuition

Annuler l'effet d'une opération *rename*

Ajout d'un nouveau mécanisme de transformation

- Prend la forme de l'algorithme *revertRenameId*
- Exclure l'effet de l'opération *rename*

Intuition

1. *id* fait partie des identifiants renommés : doit retourner son ancienne valeur

Annuler l'effet d'une opération *rename*

Ajout d'un nouveau mécanisme de transformation

- Prend la forme de l'algorithme *revertRenameId*
- Exclure l'effet de l'opération *rename*

Intuition

1. *id* fait partie des identifiants renommés : doit retourner son ancienne valeur
2. *id* a (potentiellement) été inséré en concurrence : doit restaurer sa (potentielle) ancienne valeur

Annuler l'effet d'une opération *rename*

Ajout d'un nouveau mécanisme de transformation

- Prend la forme de l'algorithme *revertRenameId*
- Exclure l'effet de l'opération *rename*

Intuition

1. *id* fait partie des identifiants renommés : doit retourner son ancienne valeur
2. *id* a (potentiellement) été inséré en concurrence : doit restaurer sa (potentielle) ancienne valeur
3. *id* a été inséré après le renommage : doit retourner une valeur qui préserve l'ordre

Annuler l'effet d'une opération *rename*

Ajout d'un nouveau mécanisme de transformation

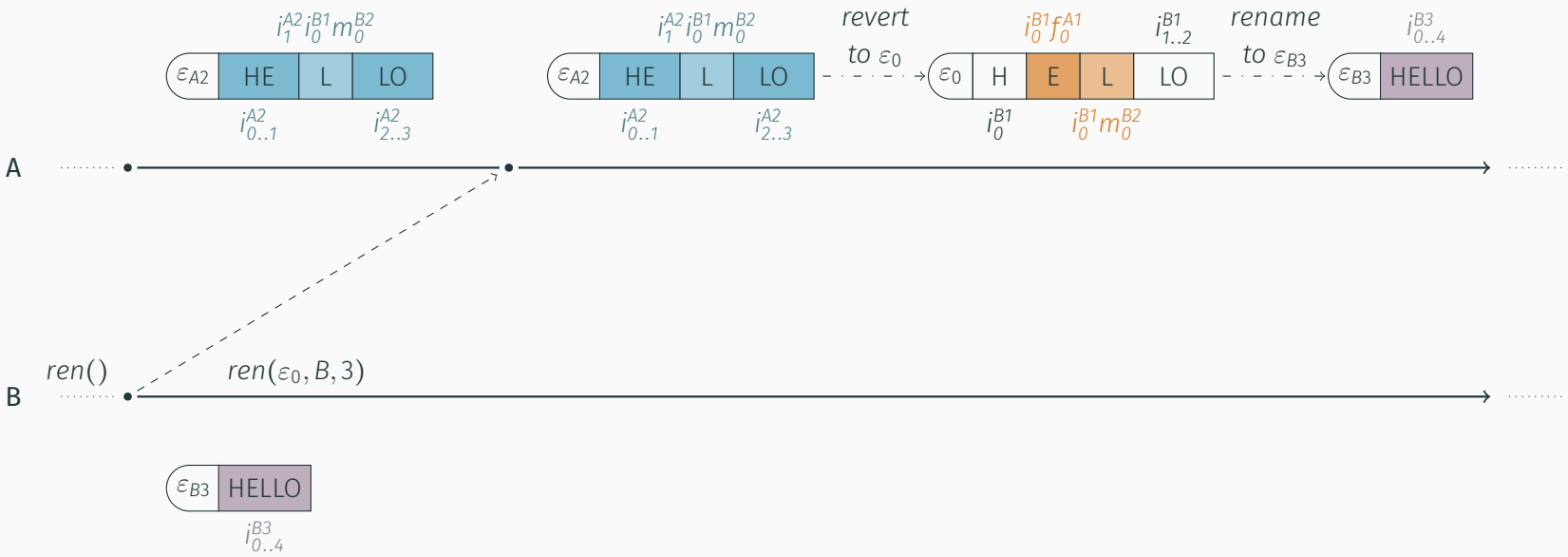
- Prend la forme de l'algorithme *revertRenameId*
- Exclure l'effet de l'opération *rename*

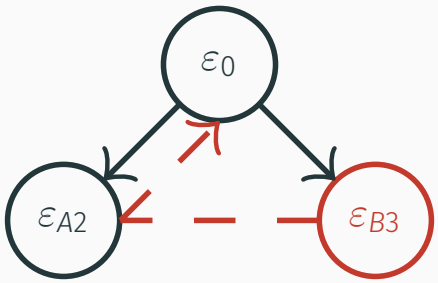
Intuition

1. *id* fait partie des identifiants renommés : doit retourner son ancienne valeur
2. *id* a (potentiellement) été inséré en concurrence : doit restaurer sa (potentielle) ancienne valeur
3. *id* a été inséré après le renommage : doit retourner une valeur qui préserve l'ordre

Distingue cas par filtrage par motif

Opérations *rename* concurrentes - Choix de l'époque cible





- TODO : Illustrer choix de l'époque cible, cas 1 et cas 2