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

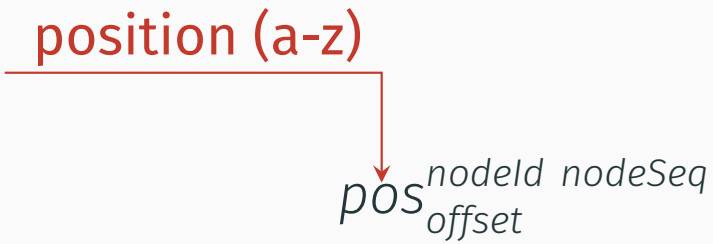
- Composé d'un ou plusieurs tuples suivants

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

Identifiant LogootSplit

Identifiant

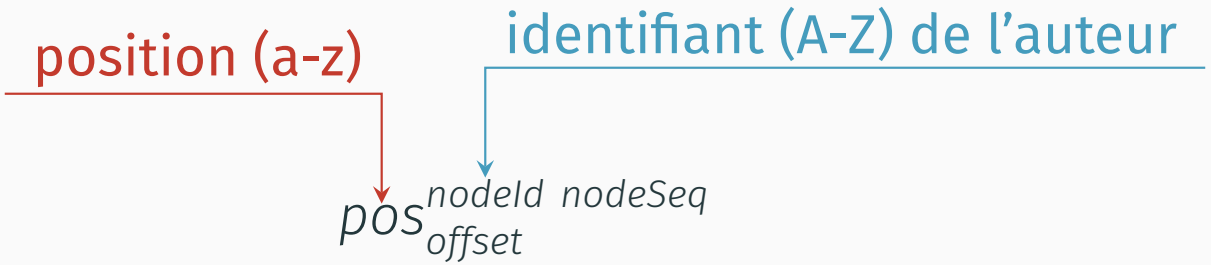
- Composé d'un ou plusieurs tuples suivants



Identifiant LogootSplit

Identifiant

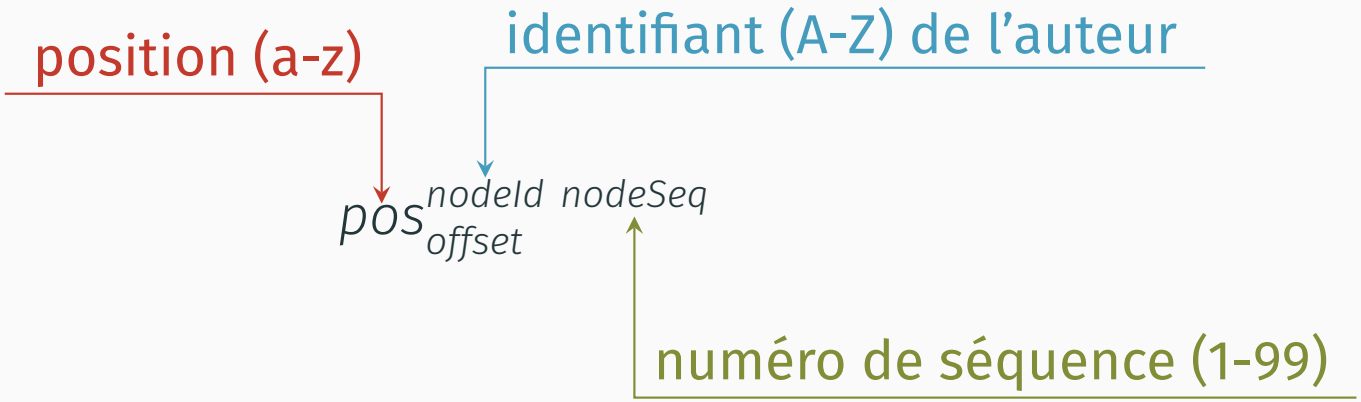
- Composé d'un ou plusieurs tuples suivants



Identifiant LogootSplit

Identifiant

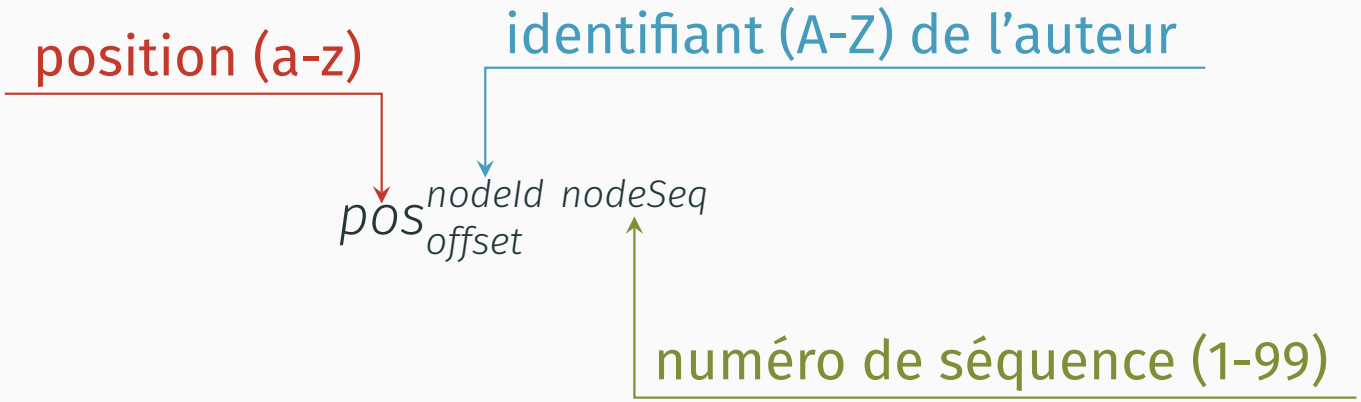
- Composé d'un ou plusieurs tuples suivants



Identifiant LogootSplit

Identifiant

- Composé d'un ou plusieurs tuples suivants



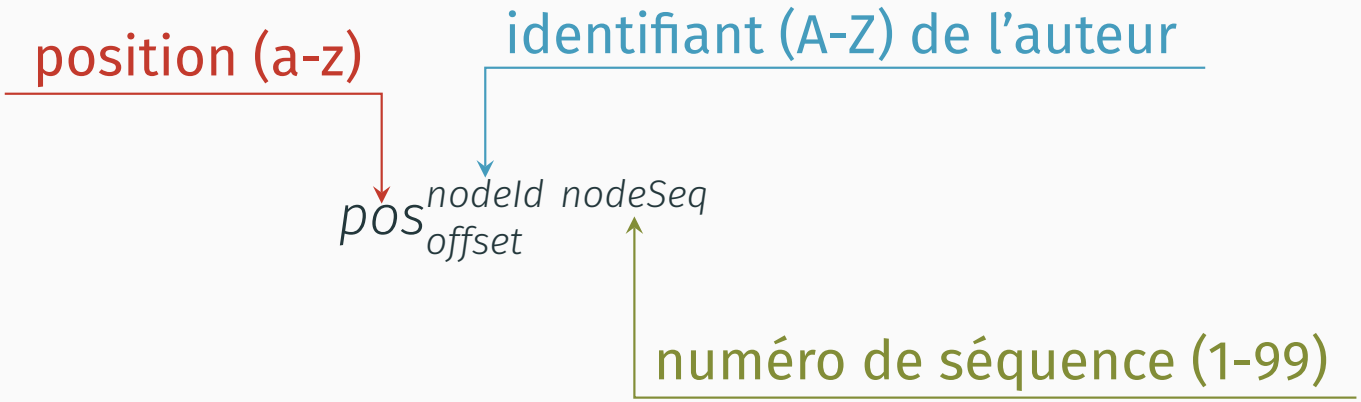
Exemples

d_0^{F5}

Identifiant LogootSplit

Identifiant

- Composé d'un ou plusieurs tuples suivants



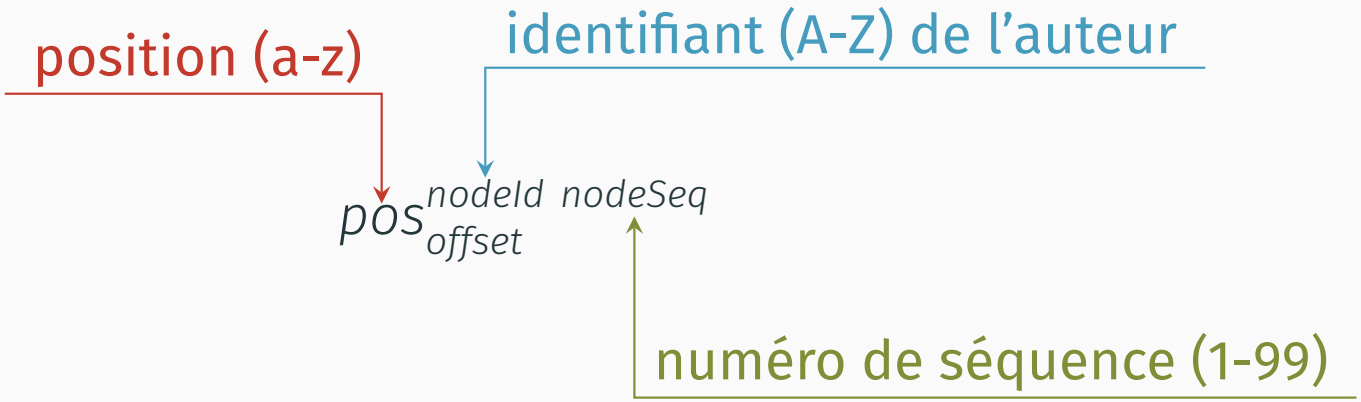
Exemples

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

Identifiant LogootSplit

Identifiant

- Composé d'un ou plusieurs tuples suivants



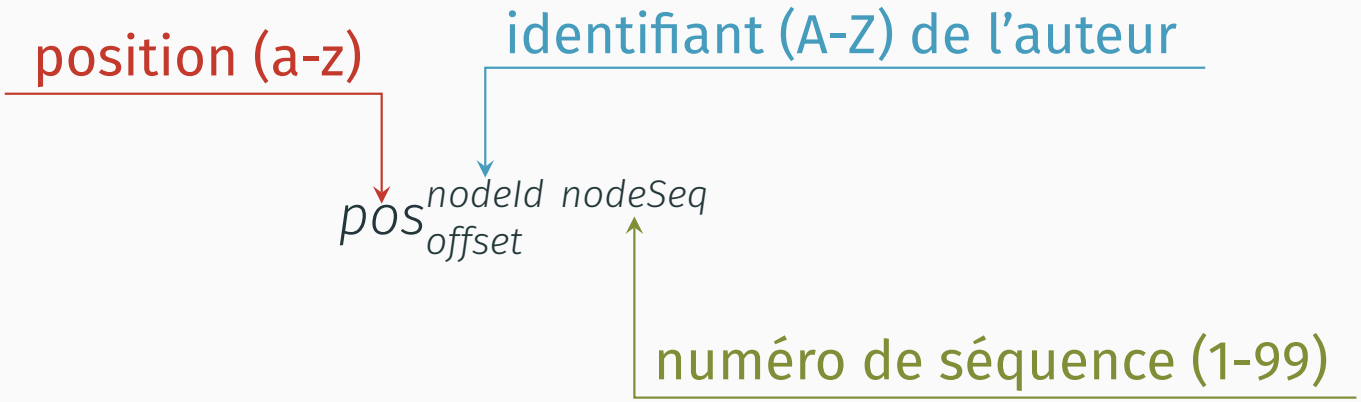
Exemples

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

Identifiant LogootSplit

Identifiant

- Composé d'un ou plusieurs tuples suivants



Exemples

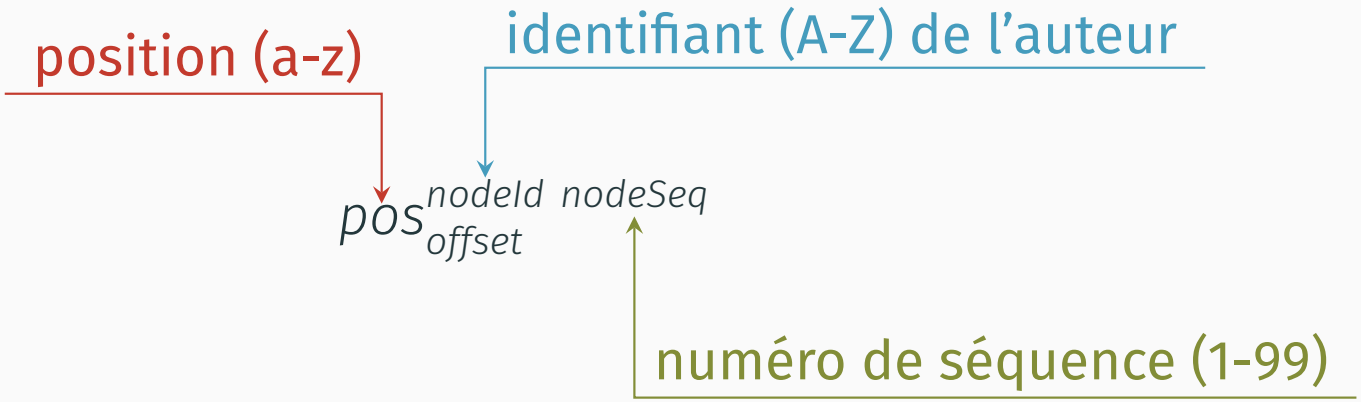
$$d_0^{F5} <_{id} m_0^{C1} <_{id} m_0^{C1} f_0^{E1}$$

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

Identifiant LogootSplit

Identifiant

- Composé d'un ou plusieurs tuples suivants



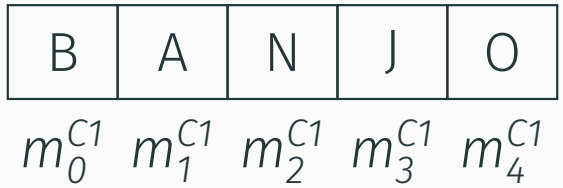
Exemples

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

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

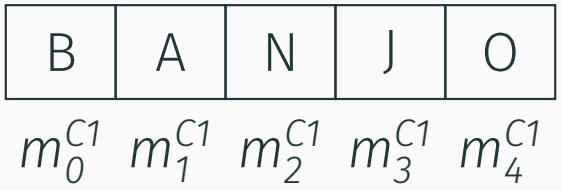
Bloc LogootSplit

- Coûteux de stocker les identifiants de chaque élément



Bloc LogootSplit

- Coûteux de stocker les identifiants de chaque élément



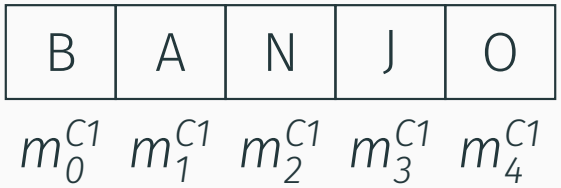
- Aggrège en un bloc éléments ayant identifiants contigus

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



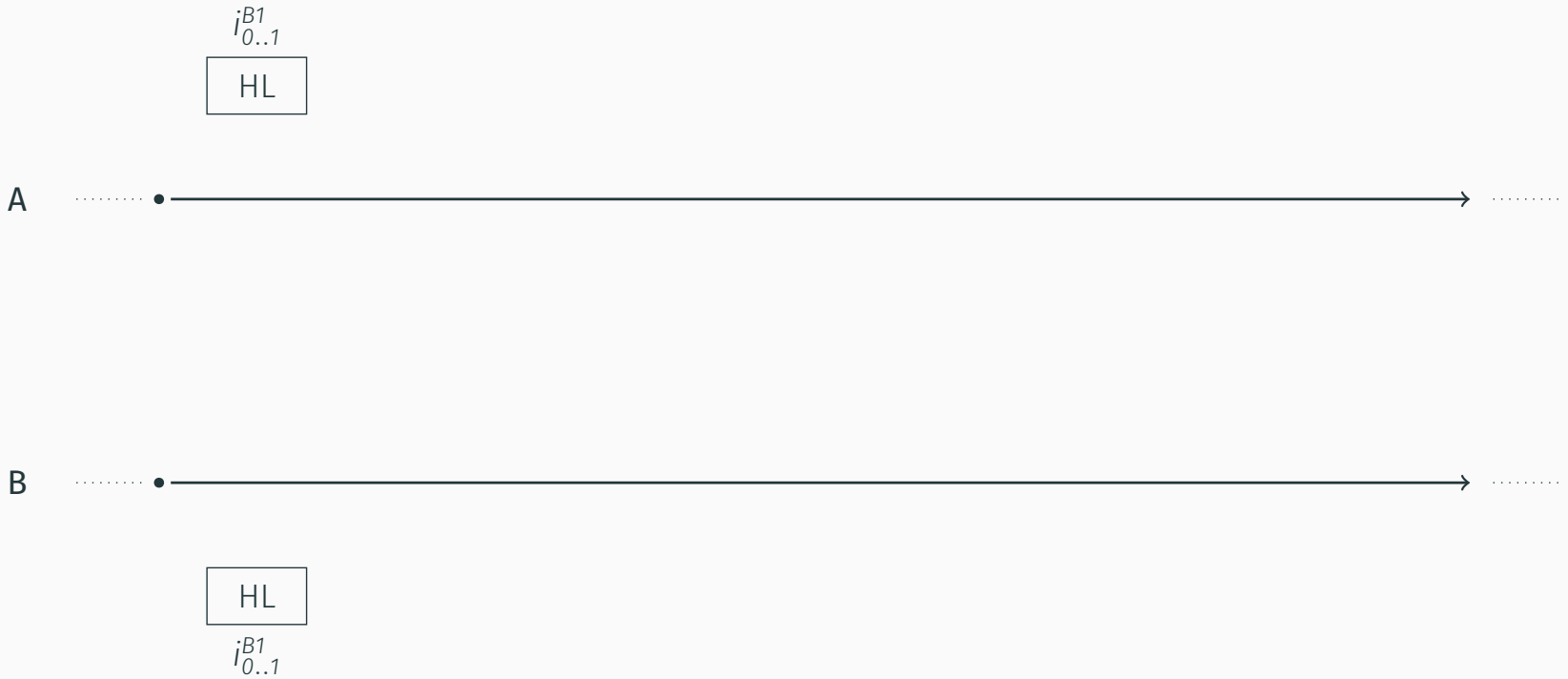
- Aggrège en un bloc éléments ayant identifiants contigus

Identifiants contigus

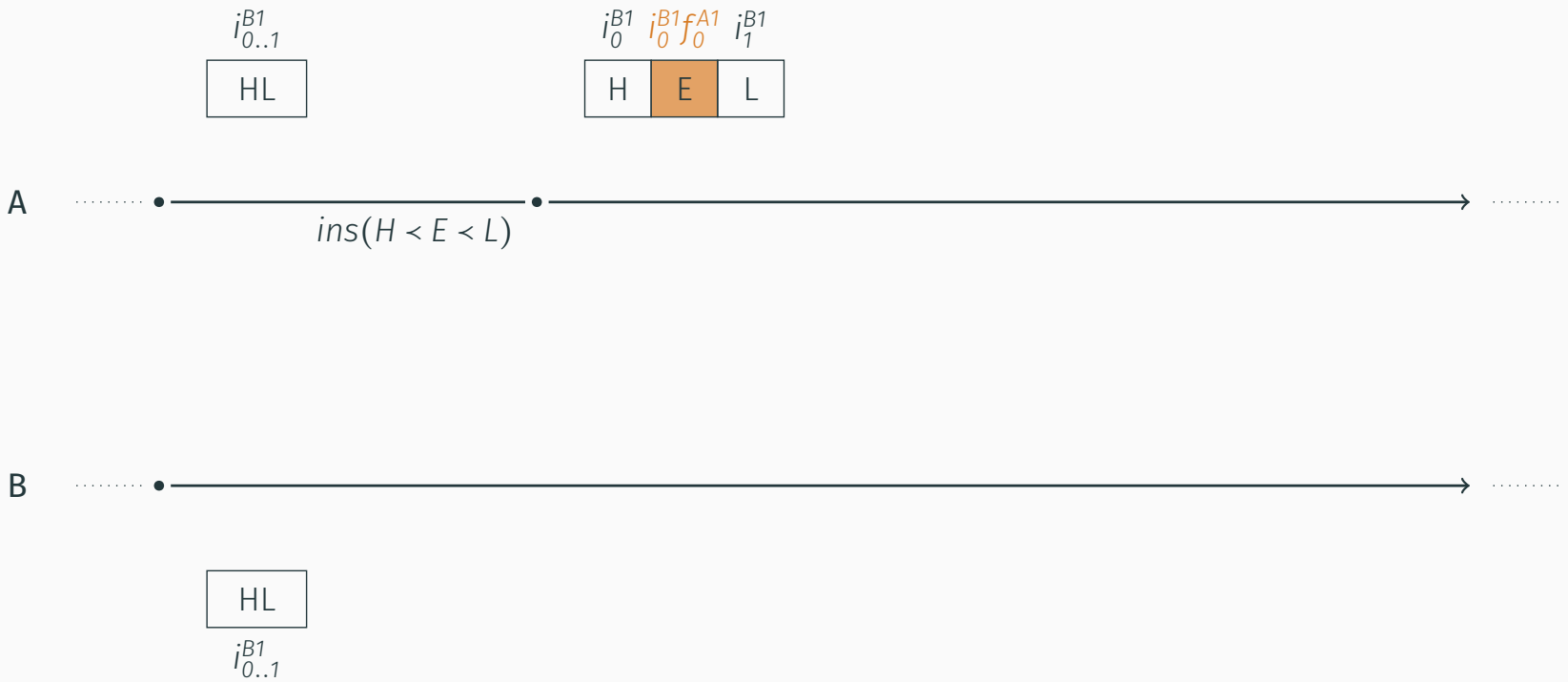
Deux identifiants sont contigus si et seulement si les deux identifiants sont identiques à l'exception de leur dernier offset et que leur derniers offsets sont consécutifs.

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

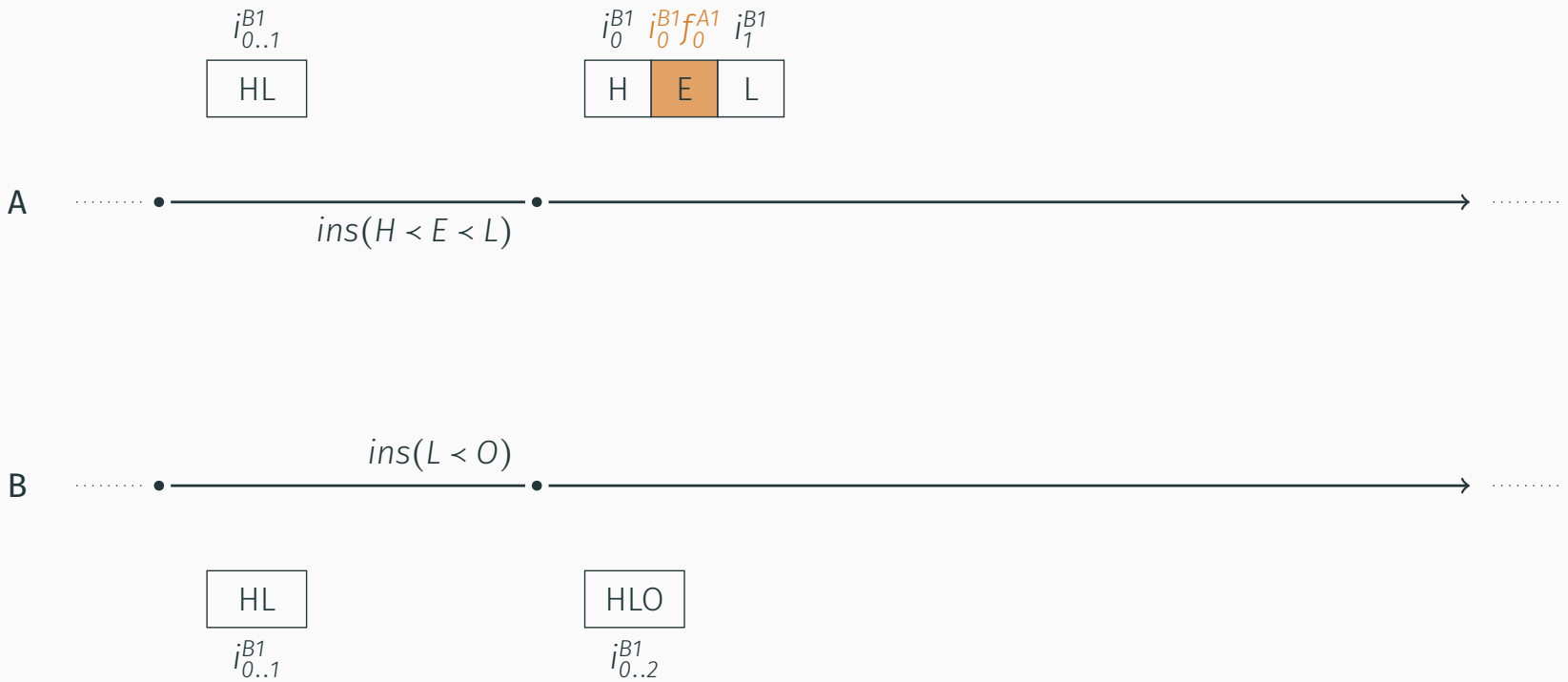
Exemple insertions concurrentes



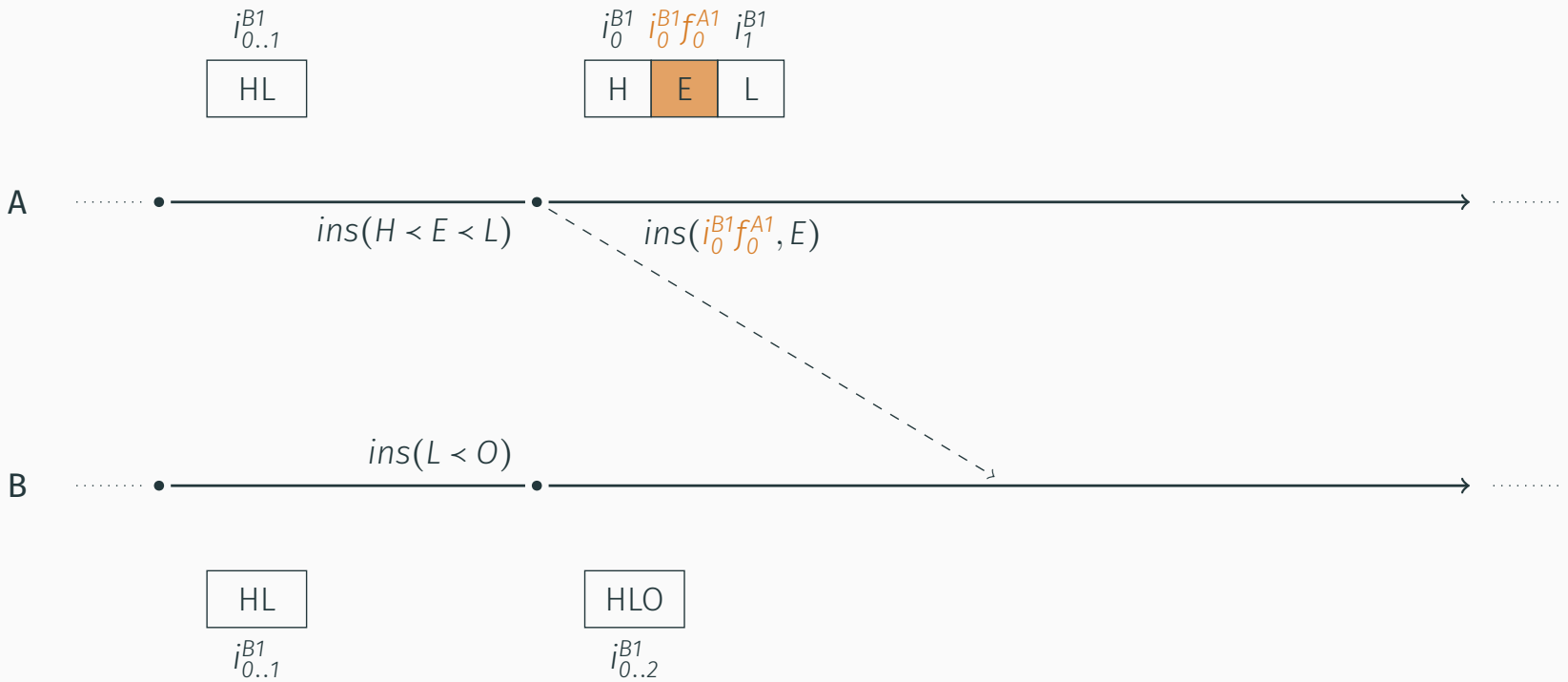
Exemple insertions concurrentes



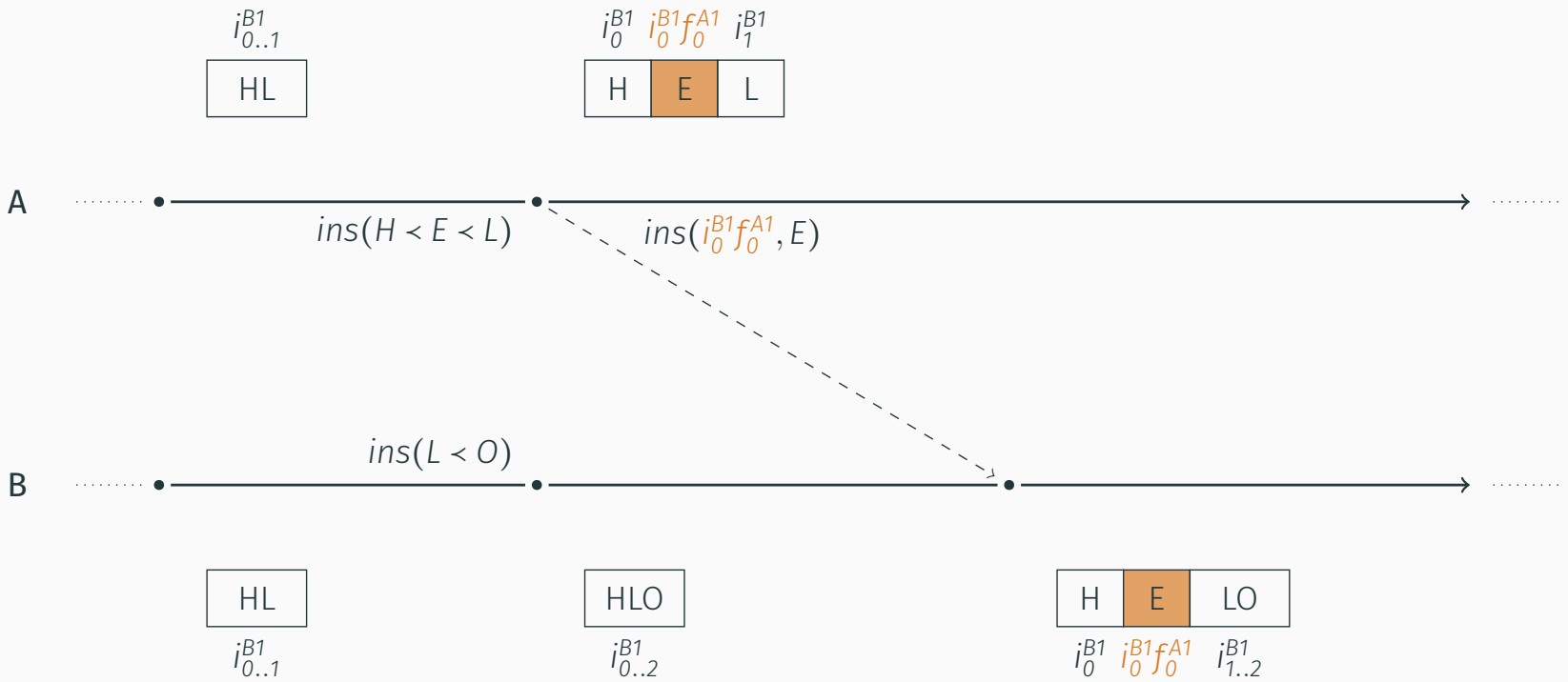
Exemple insertions concurrentes



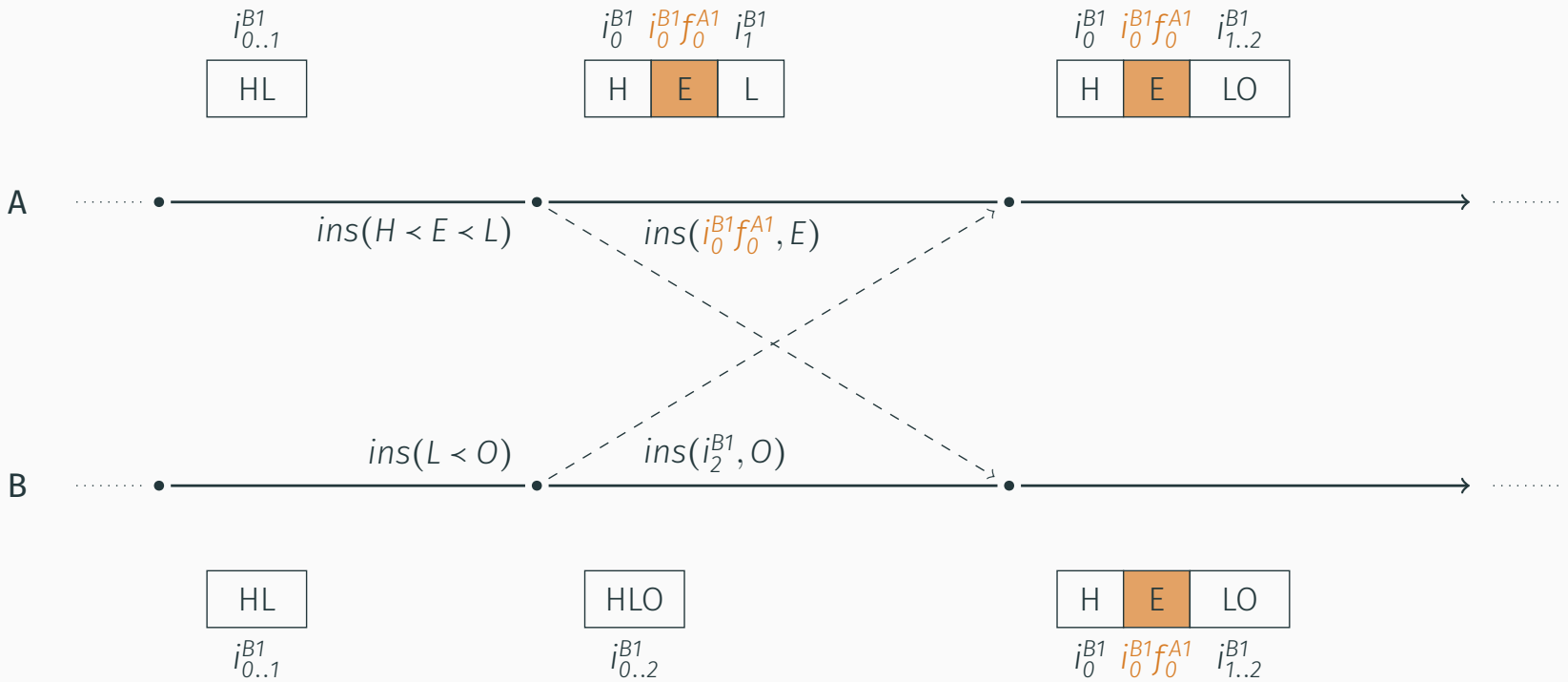
Exemple insertions concurrentes



Exemple insertions concurrentes



Exemple insertions concurrentes



Limites de LogootSplit

Sources croissance métadonnées

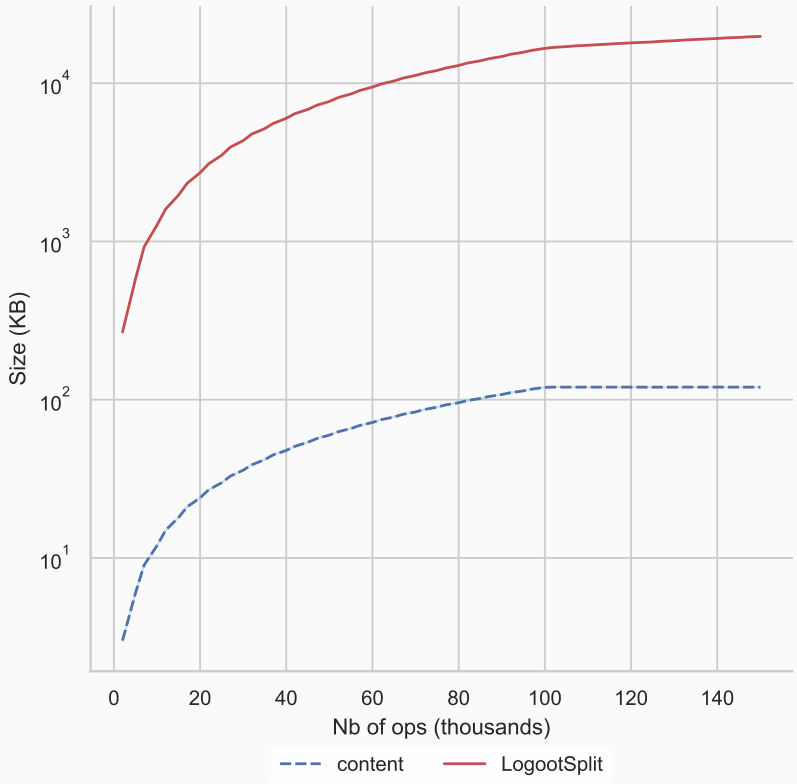
- Croissance non-bornée de la taille des identifiants
- Fragmentation en blocs courts

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

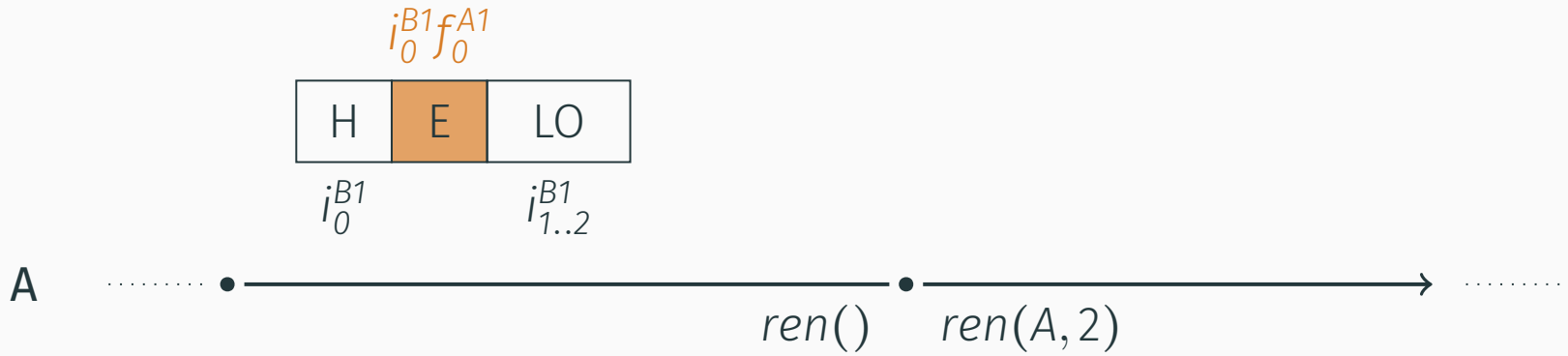
Contribution : RenamableLogootSplit

- CRDT pour le type Séquence qui incorpore un mécanisme de renommage
- Prend la forme d'une nouvelle opération : *rename*

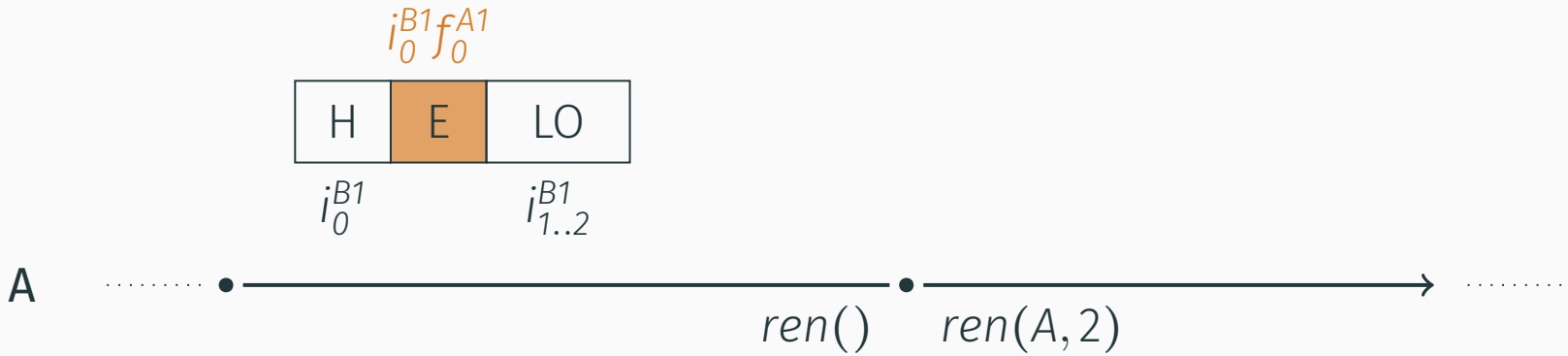
Propriétés de l'opération *rename*

- Est déterministe
- Préserve l'intention des utilisateur-rices
- Préserve la séquence, c.-à-d. unicité et ordre de ses identifiants
- Commute avec les opérations *insert*, *remove* mais aussi *rename* concurrentes

Opération *rename*

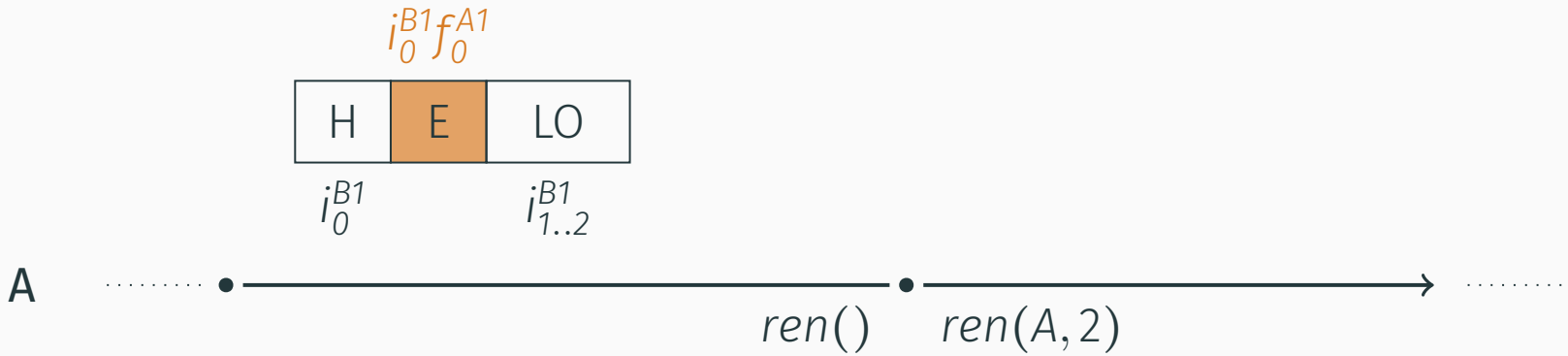


Opération *rename*



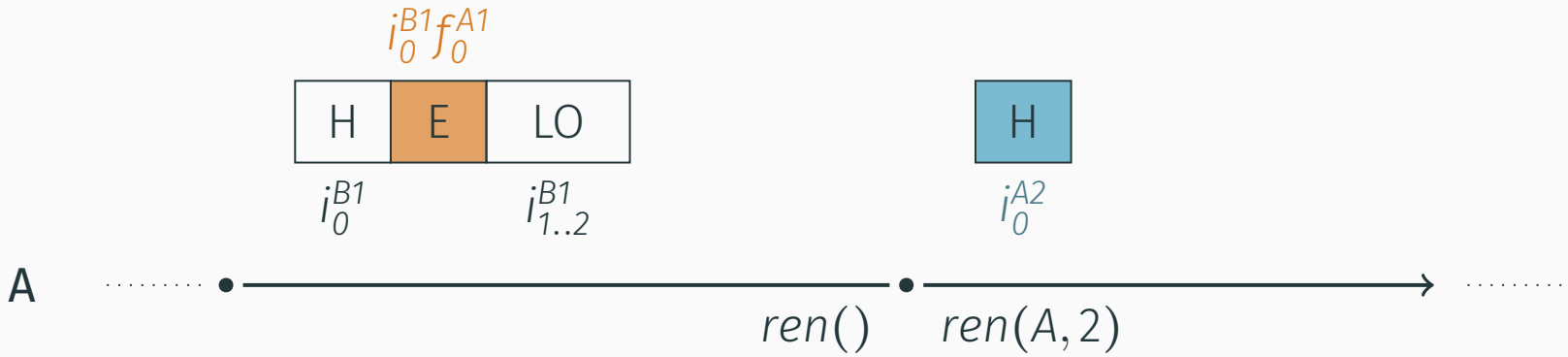
- Génère nouvel identifiant pour le 1er élément :

Opération *rename*



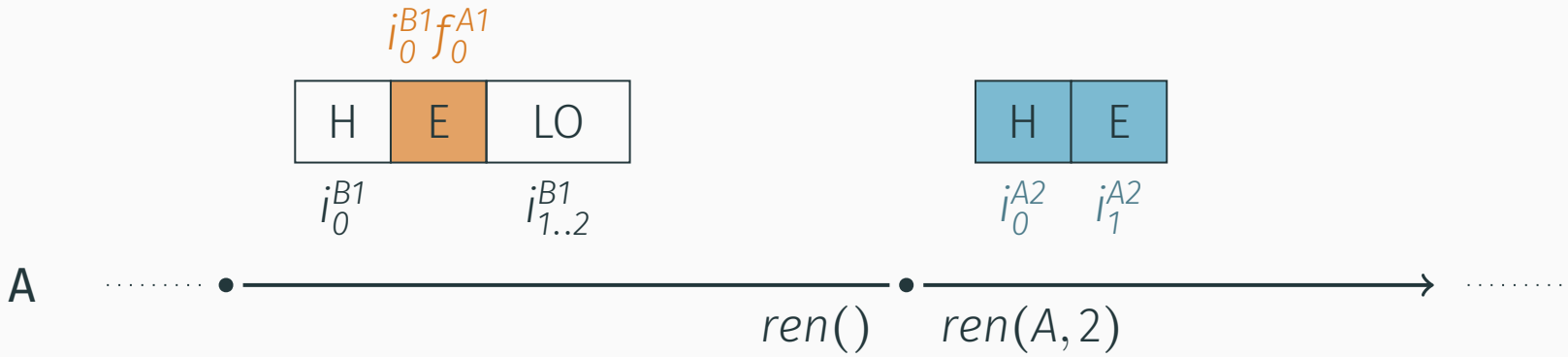
- Génère nouvel identifiant pour le 1er élément : $i_0^{B1} \rightarrow i_0^{A2}$

Opération *rename*



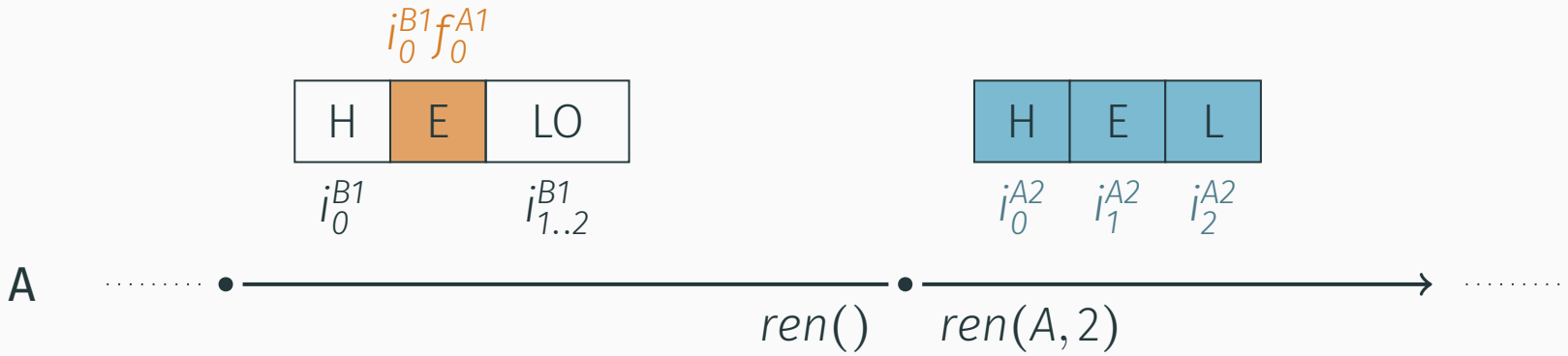
- Génère nouvel identifiant pour le 1er élément : $i_0^{B1} \rightarrow i_0^{A2}$
- Puis génère identifiants contigus pour éléments suivants :

Opération *rename*



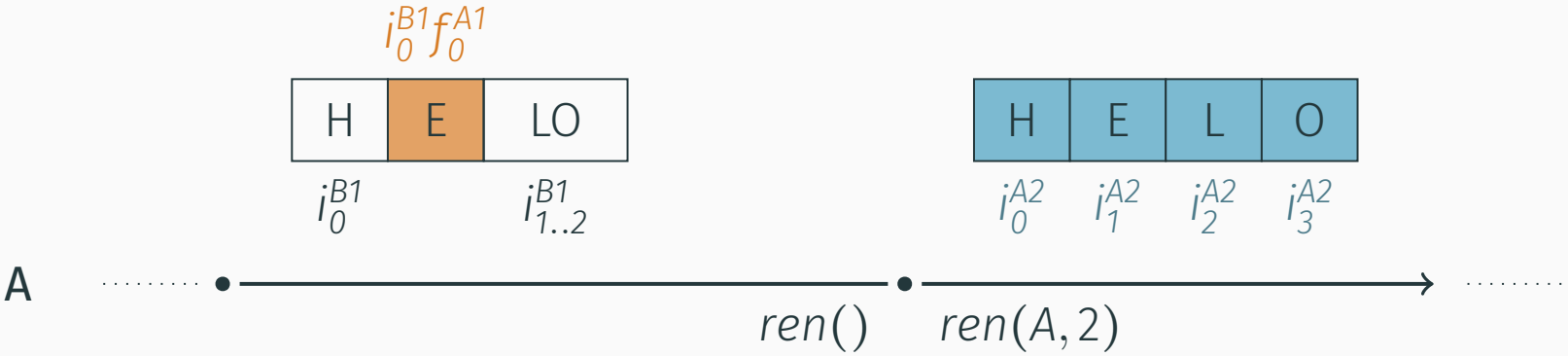
- Génère nouvel identifiant pour le 1er élément : $i_0^{B1} \rightarrow i_0^{A2}$
- Puis génère identifiants contigus pour éléments suivants : i_1^{A2}

Opération *rename*



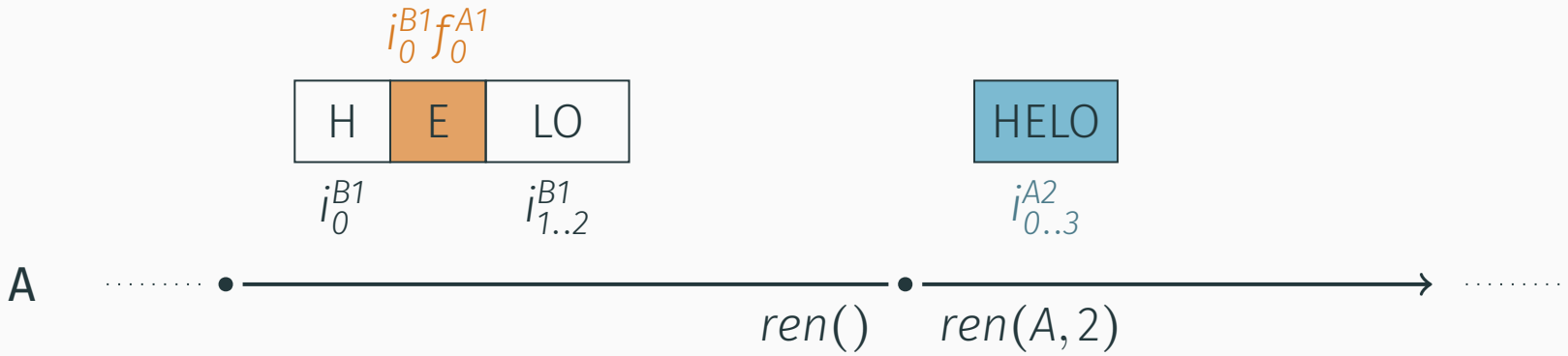
- Génère nouvel identifiant pour le 1er élément : $i_0^{B1} \rightarrow i_0^{A2}$
- Puis génère identifiants contigus pour éléments suivants : i_1^{A2}, i_2^{A2}

Opération *rename*



- Génère nouvel identifiant pour le 1er élément : $i_0^{B1} \rightarrow i_0^{A2}$
- Puis génère identifiants contigus pour éléments suivants : i_1^{A2}, i_2^{A2}, ...

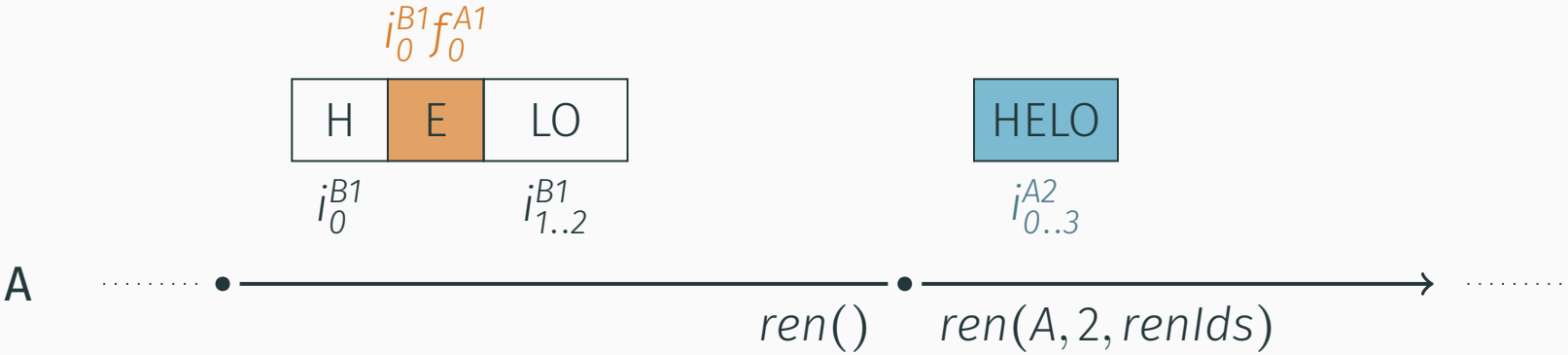
Opération *rename*



- Génère nouvel identifiant pour le 1er élément : $i_0^{B1} \rightarrow i_0^{A2}$
- Puis génère identifiants contigus pour éléments suivants : i_1^{A2}, i_2^{A2}, ...

Regroupe tous les éléments en 1 unique bloc

Opération *rename*

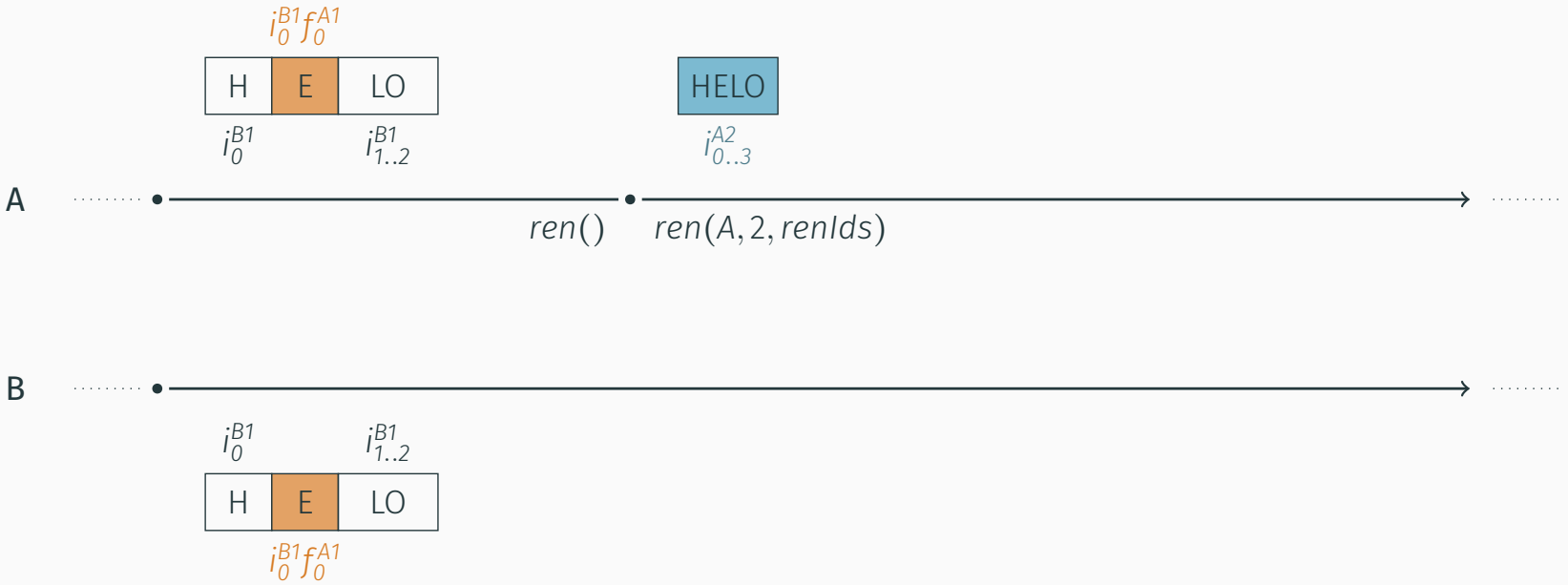


- Génère nouvel identifiant pour le 1er élément : $i_0^{B1} \rightarrow i_0^{A2}$
- Puis génère identifiants contigus pour éléments suivants : i_1^{A2}, i_2^{A2}, ...

Regroupe tous les éléments en 1 unique bloc

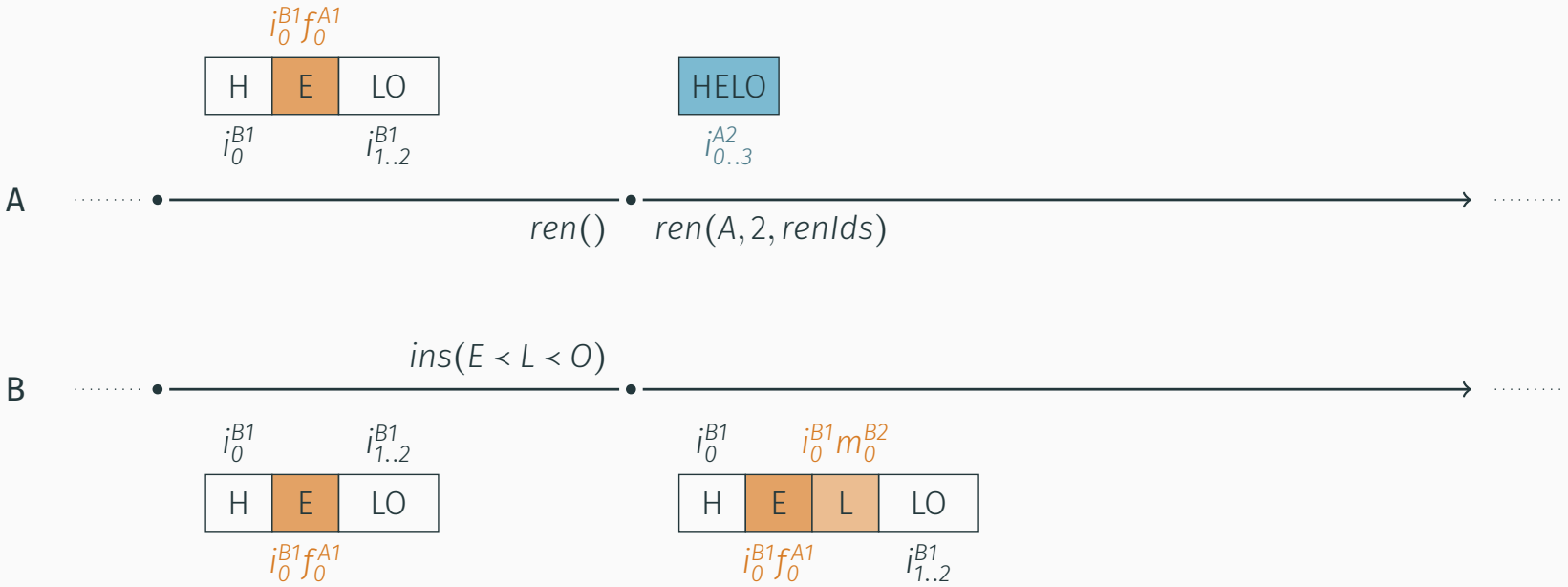
- Stocke identifiants ($[i_0^{B1}, i_0^{B1} f_0^{A1}, \dots]$) de l'état d'origine : *renIds*

Interactions avec opérations *insert* et *remove* concurrentes



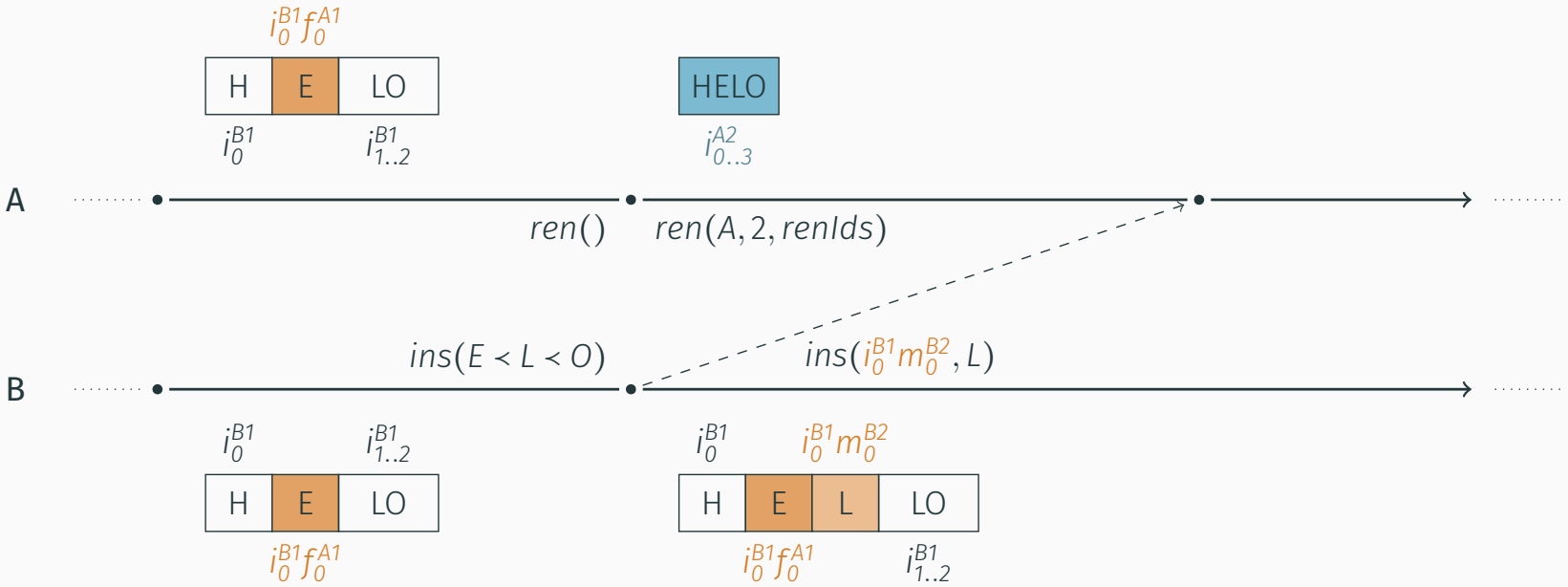
- Peuvent générer opérations concurrentes aux opérations *rename*

Interactions avec opérations *insert* et *remove* concurrentes



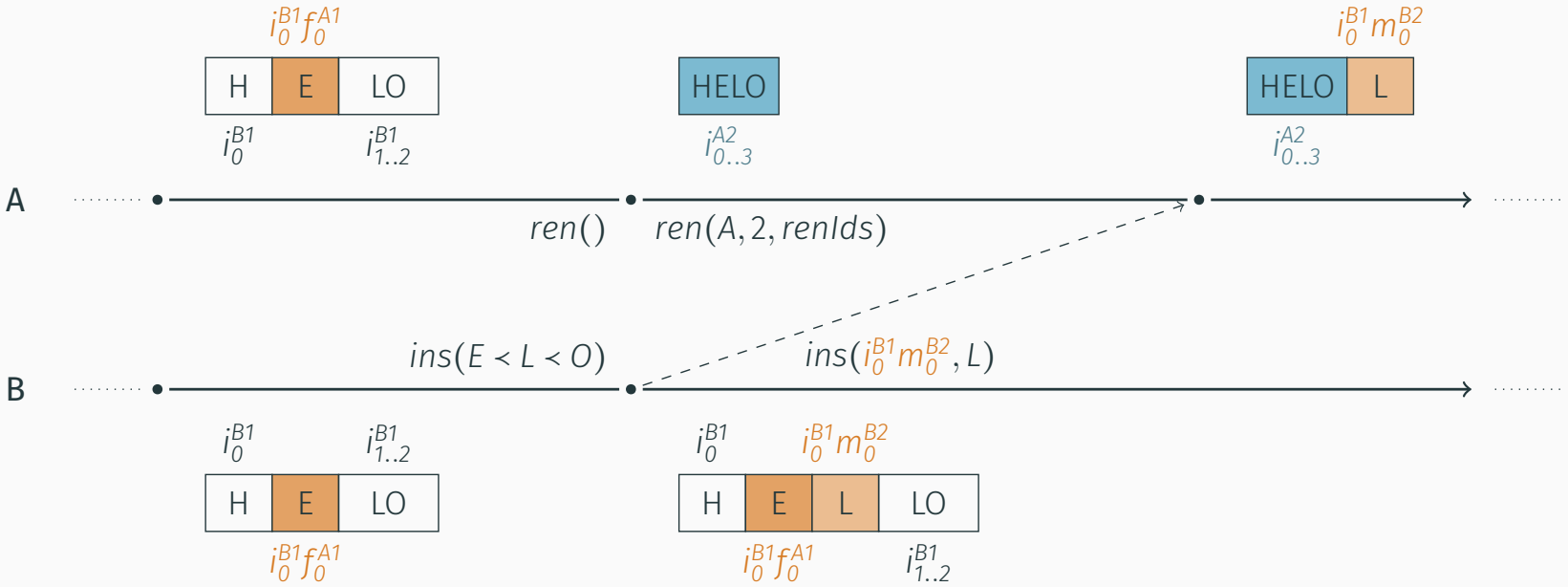
- Peuvent générer opérations concurrentes aux opérations *rename*

Interactions avec opérations *insert* et *remove* concurrentes



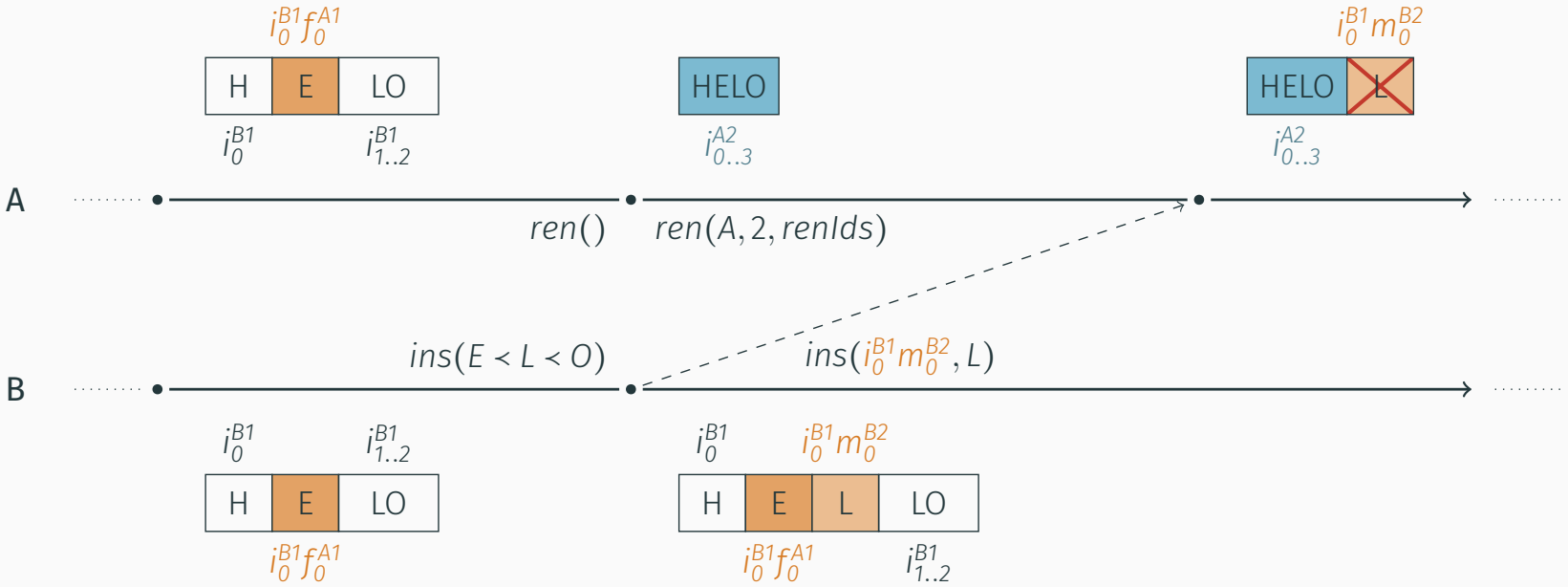
- Peuvent générer opérations concurrentes aux opérations *rename*

Interactions avec opérations *insert* et *remove* concurrentes



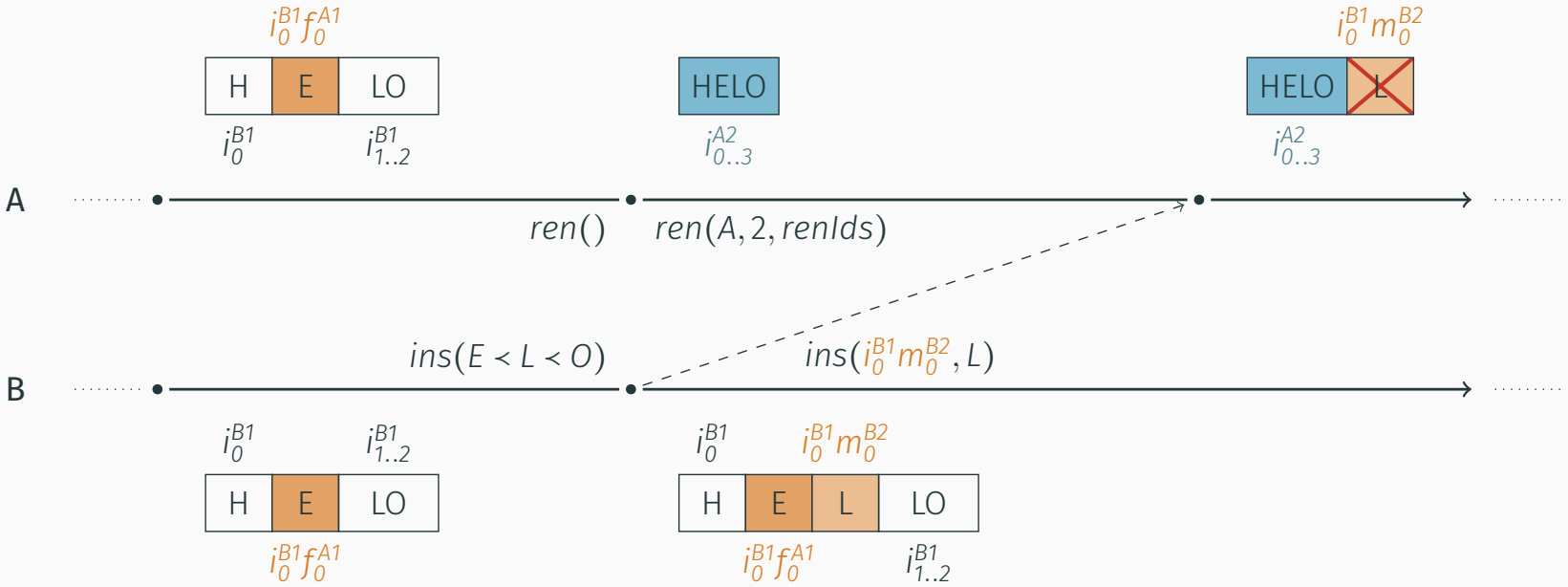
- Peuvent générer opérations concurrentes aux opérations *rename*

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

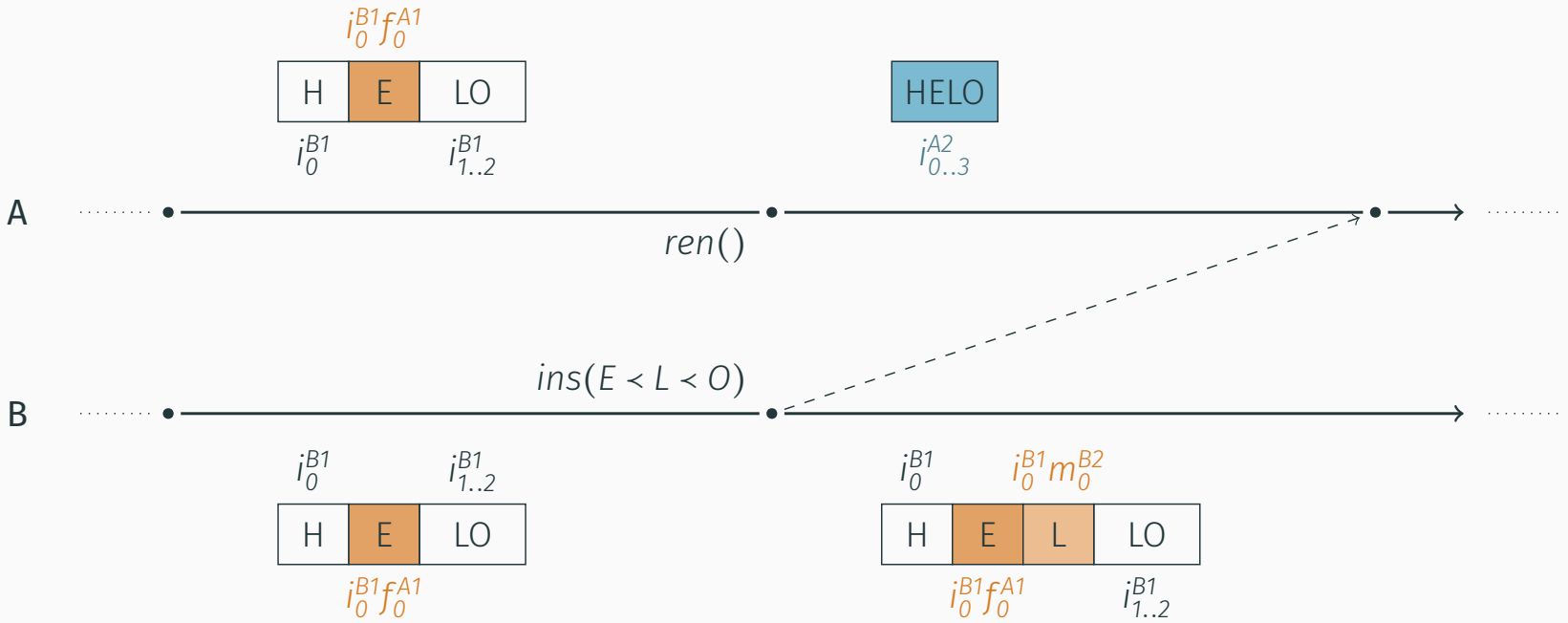
1. Détecter les opérations concurrentes aux opérations *rename*
2. Prendre en compte effet des opérations *rename* lors de l'intégration des opérations concurrentes

Mécanisme de résolution de conflits

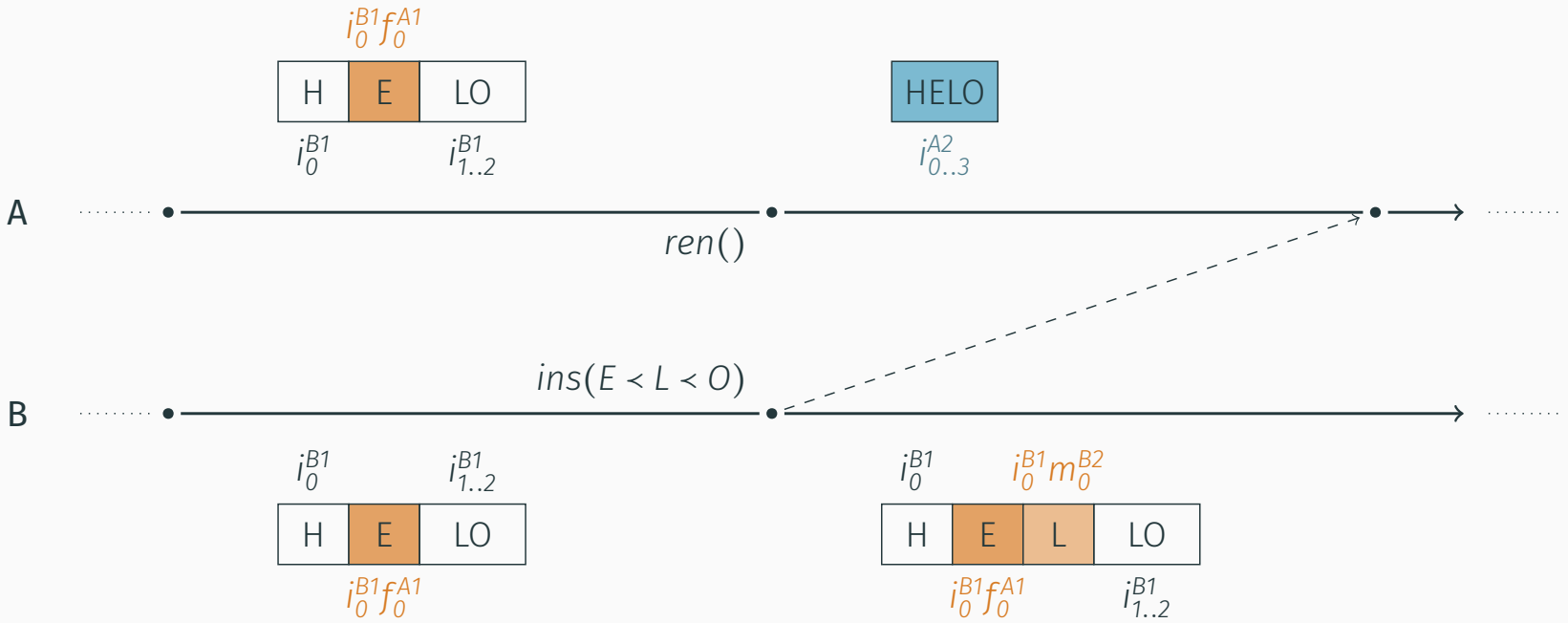
Besoins

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*

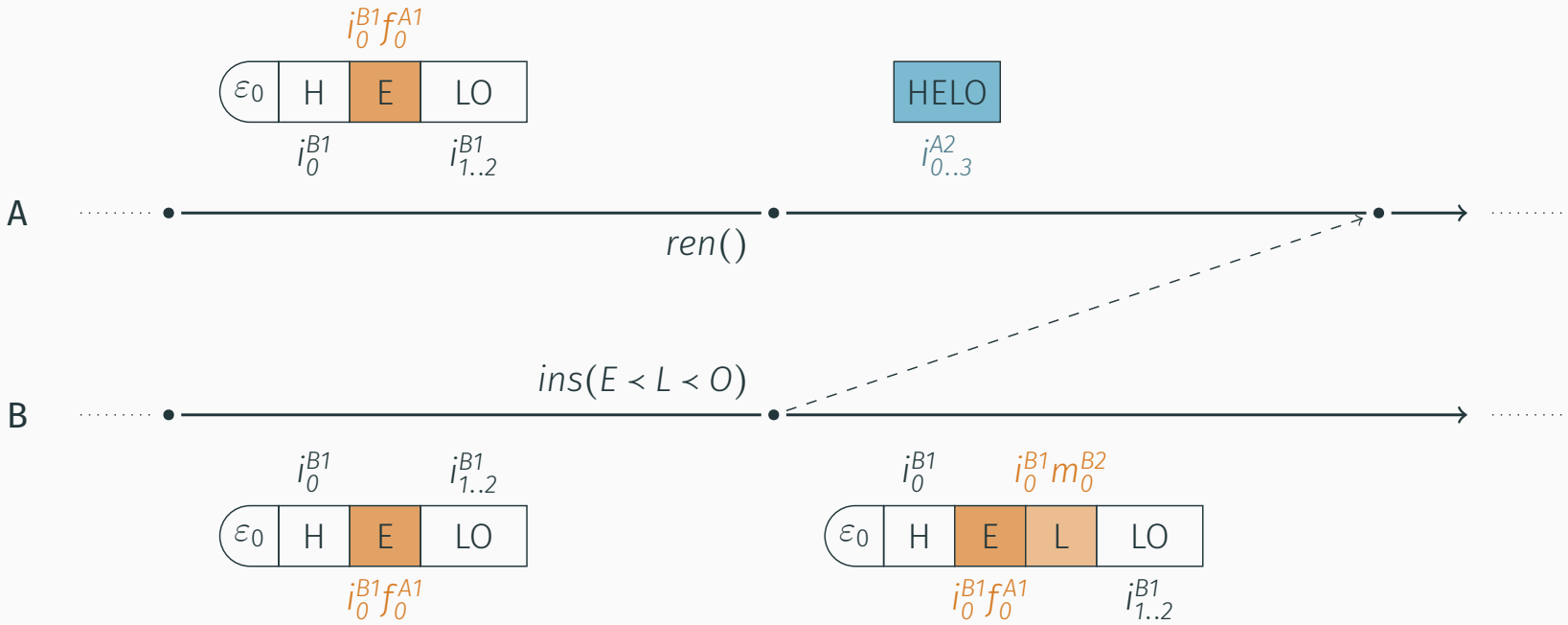


Détection des opérations concurrentes à opération *rename*



Ajout mécanisme d'époques

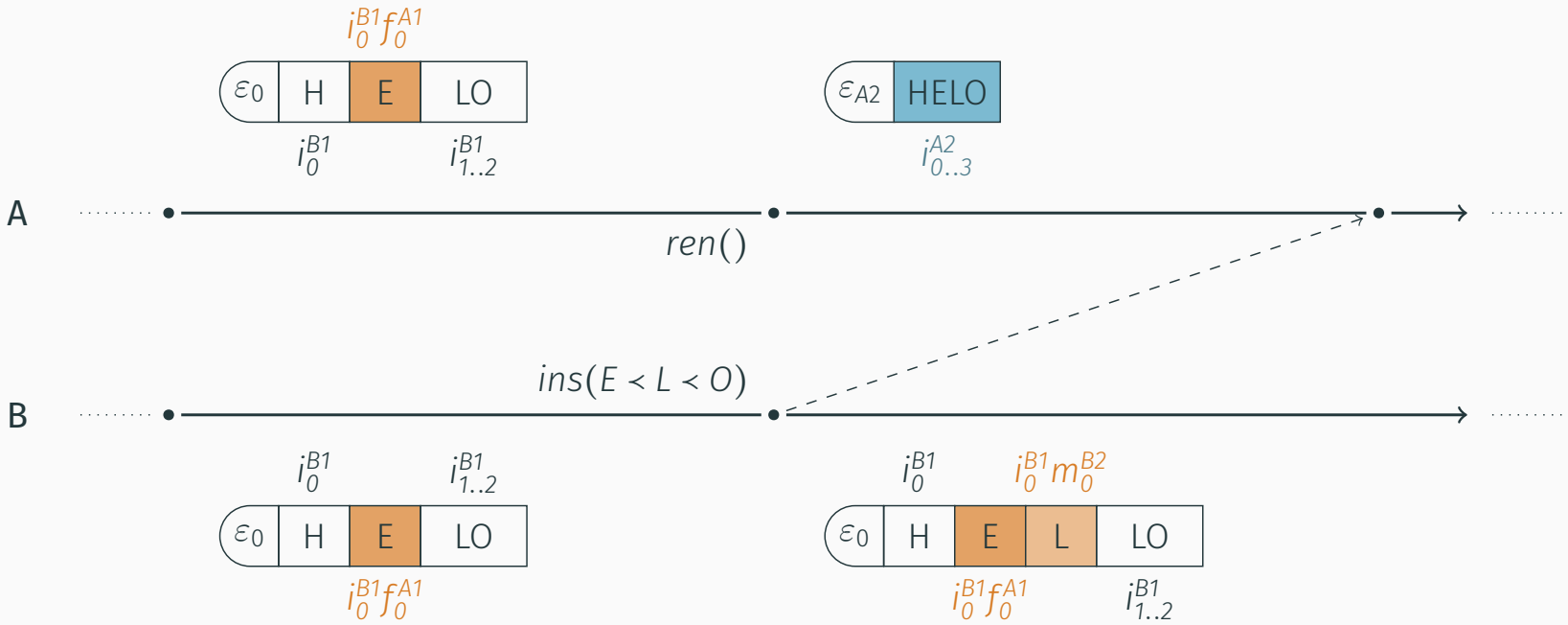
Détection des opérations concurrentes à opération *rename*



Ajout mécanisme d'époques

- Séquence commence à époque d'origine, notée ε_0

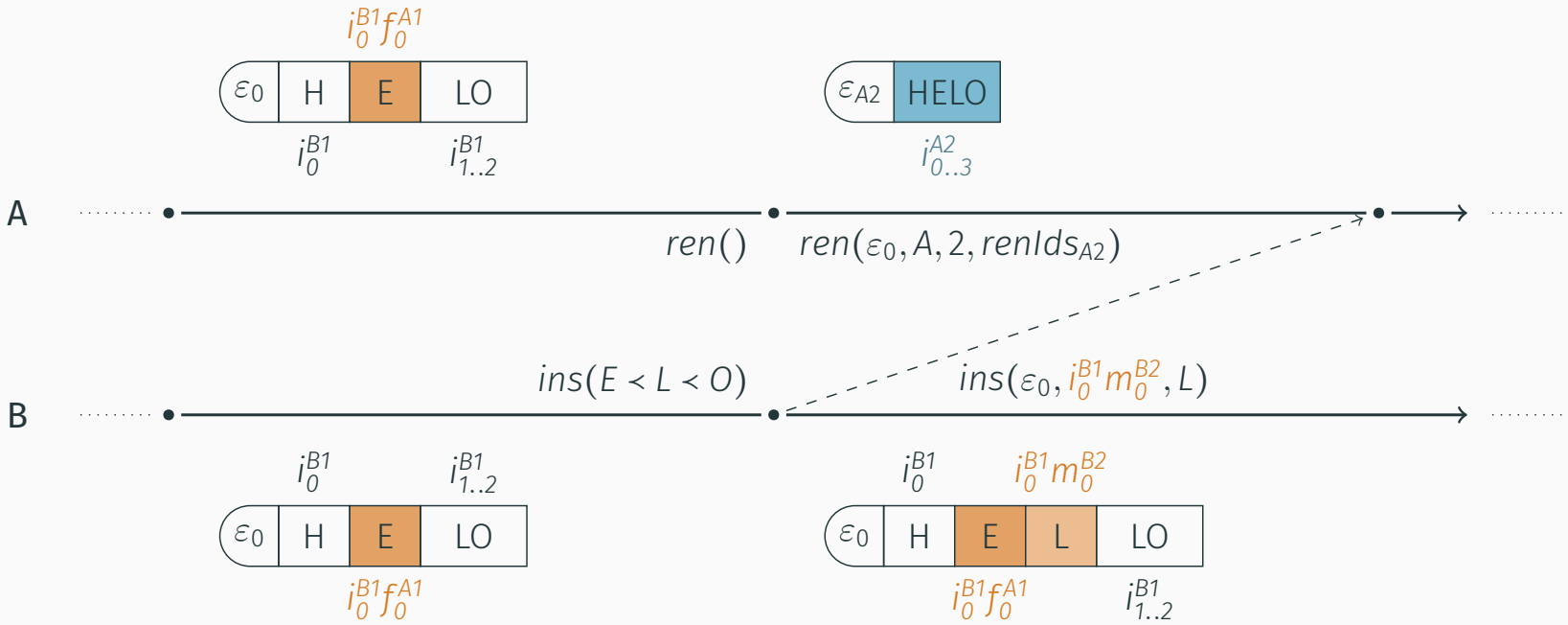
Détection des opérations concurrentes à opération *rename*



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

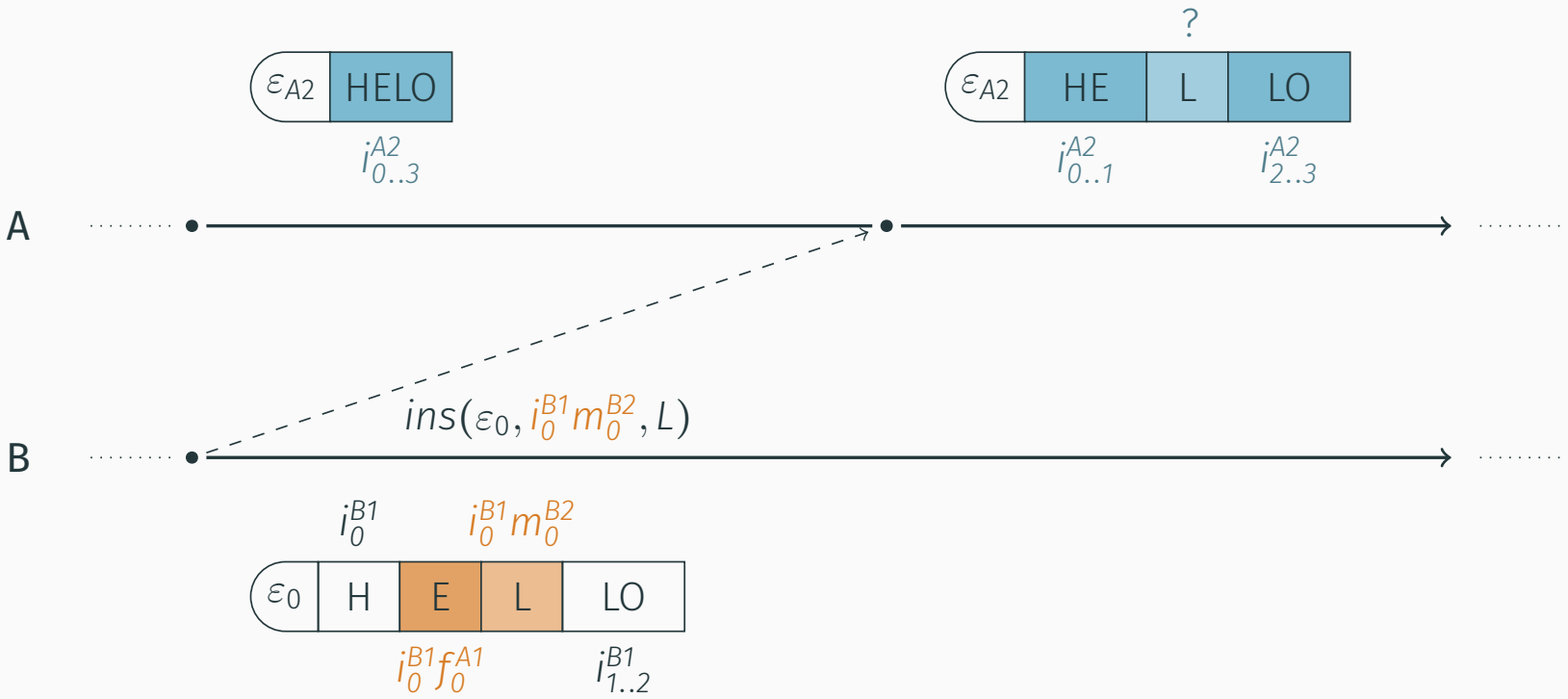
1. Détecter les opérations concurrentes aux opérations *rename*
2. Prendre en compte effet des opérations *rename* lors de l'intégration des opérations concurrentes

Mécanisme de résolution de conflits

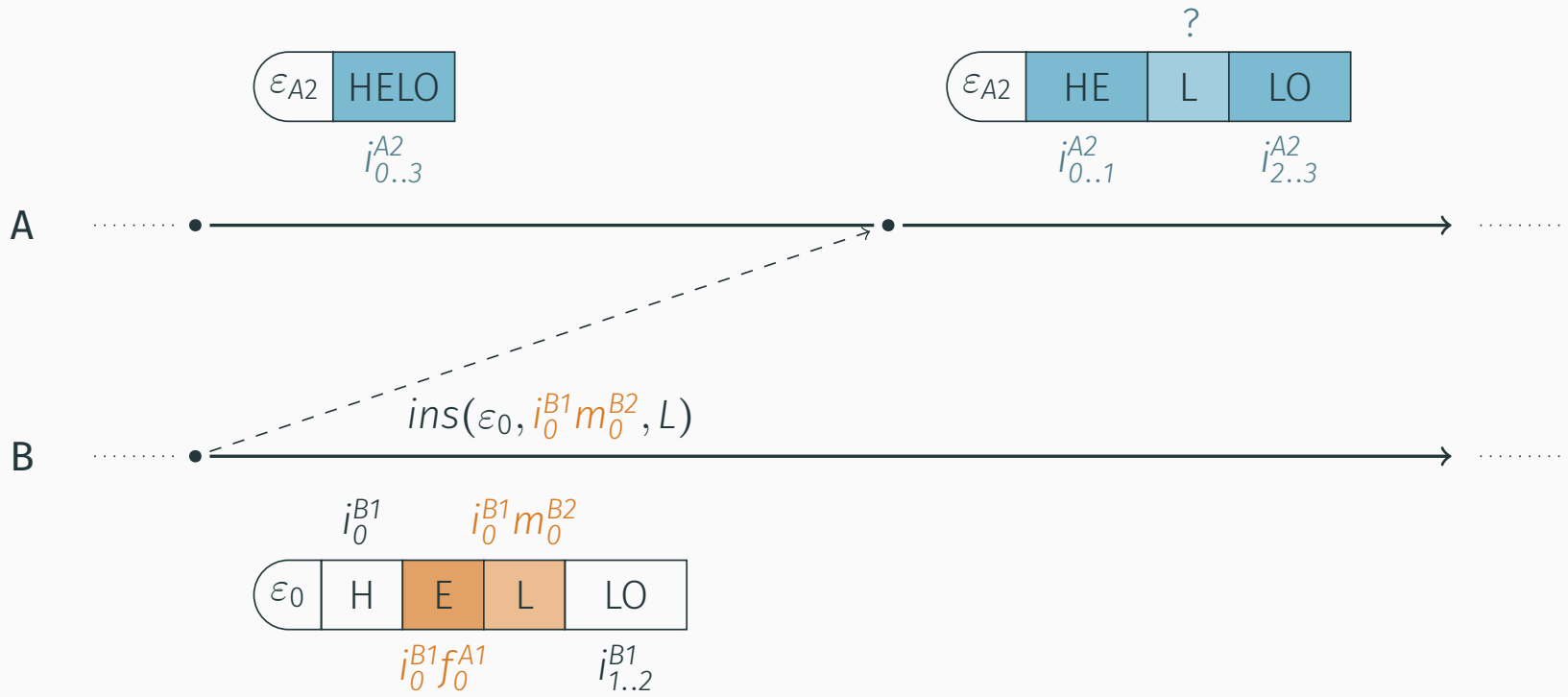
Besoins

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

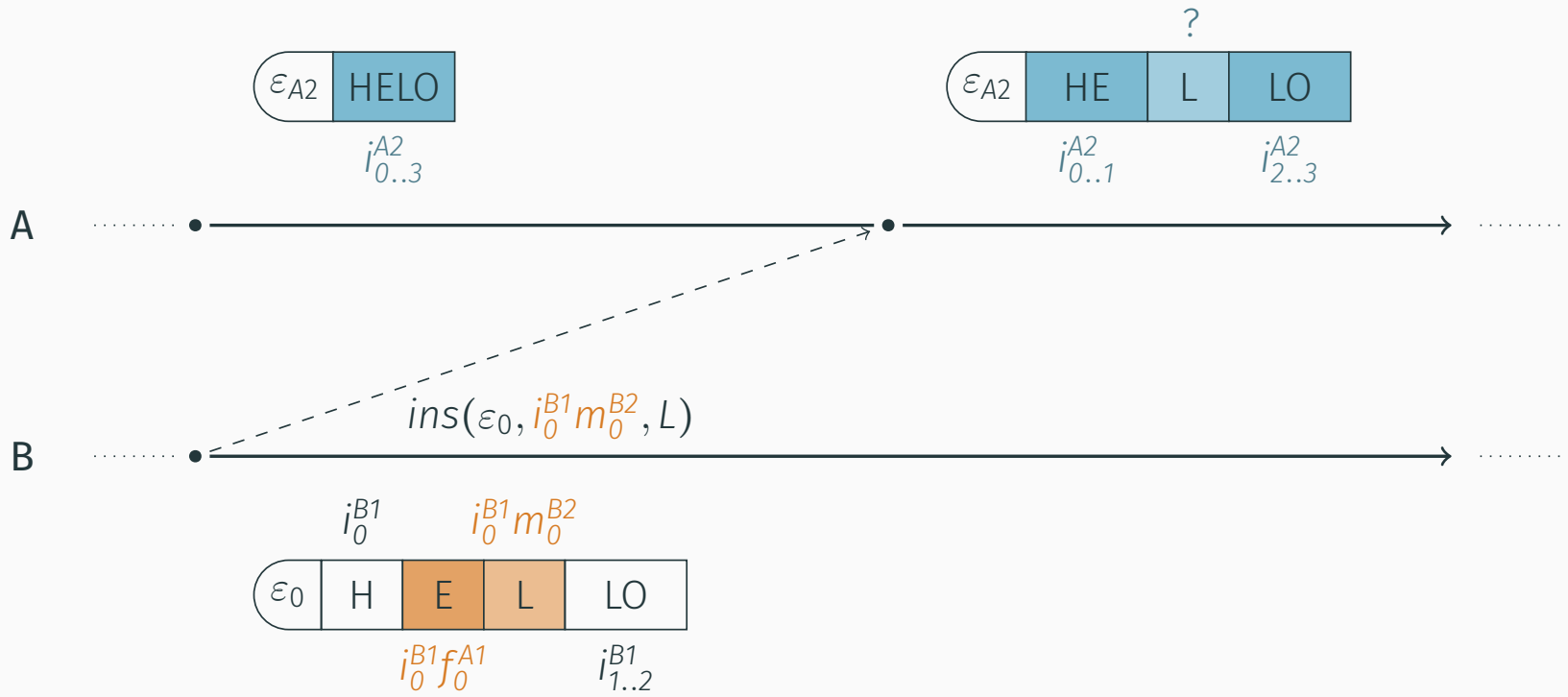


Intégration des opérations *insert* et *remove* concurrentes



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

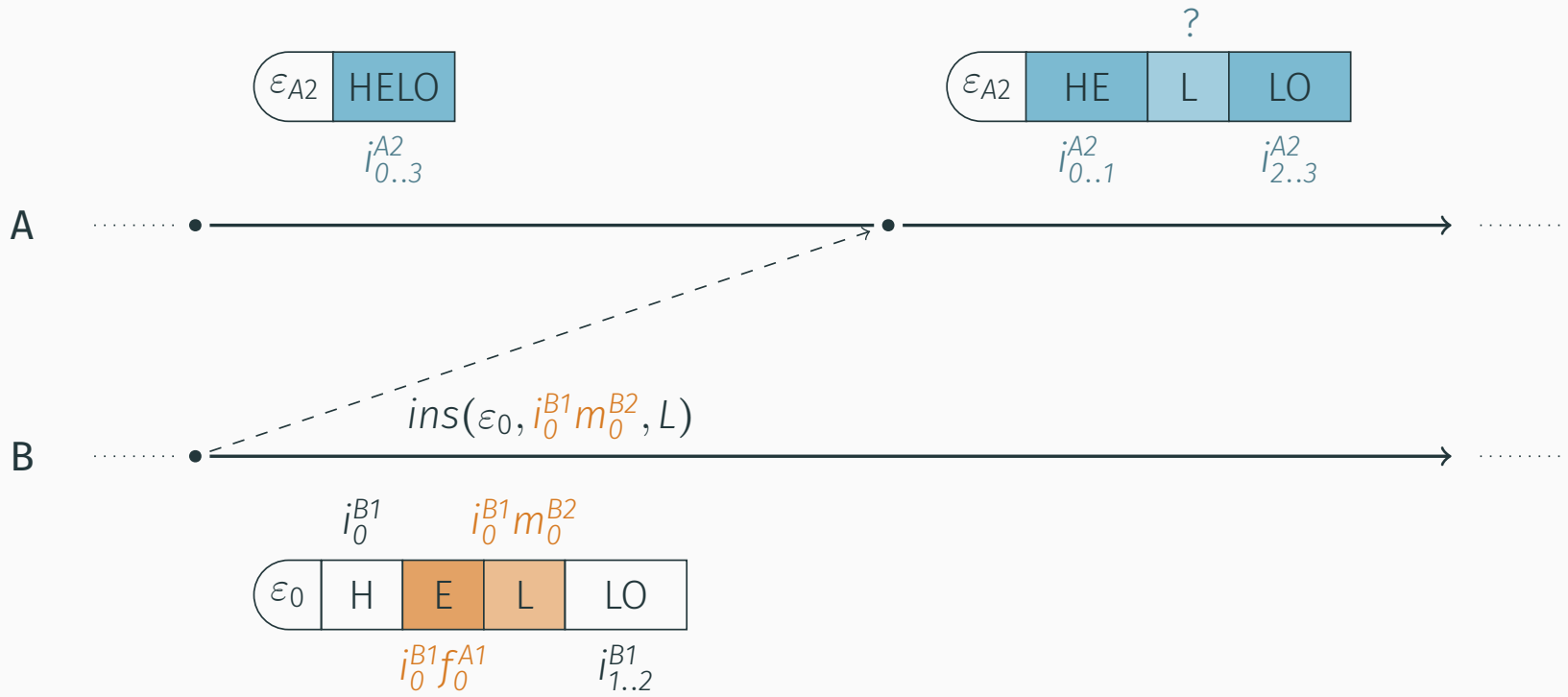
Intégration des opérations *insert* et *remove* concurrentes



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

- Prend la forme de l'algorithme `renameId`

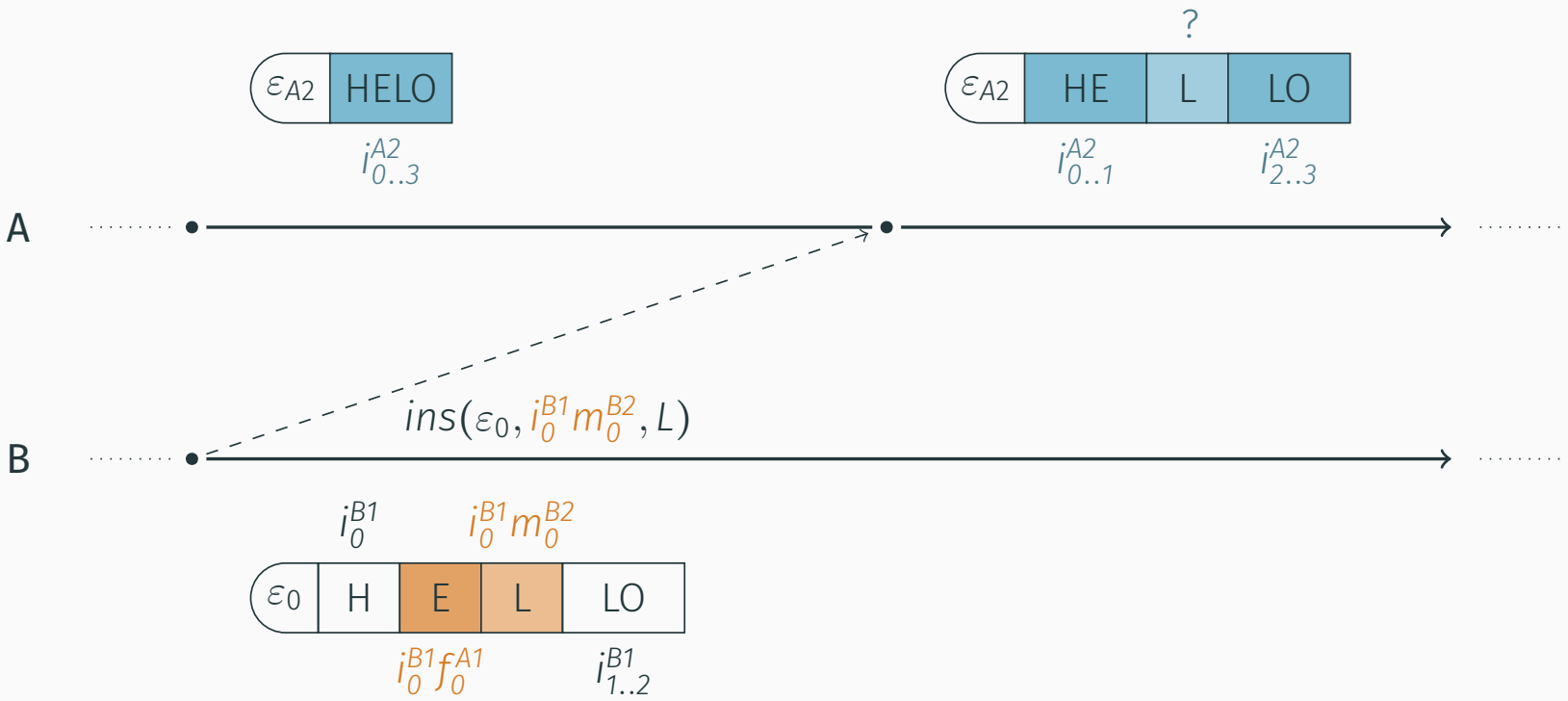
Intégration des opérations *insert* et *remove* concurrentes



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

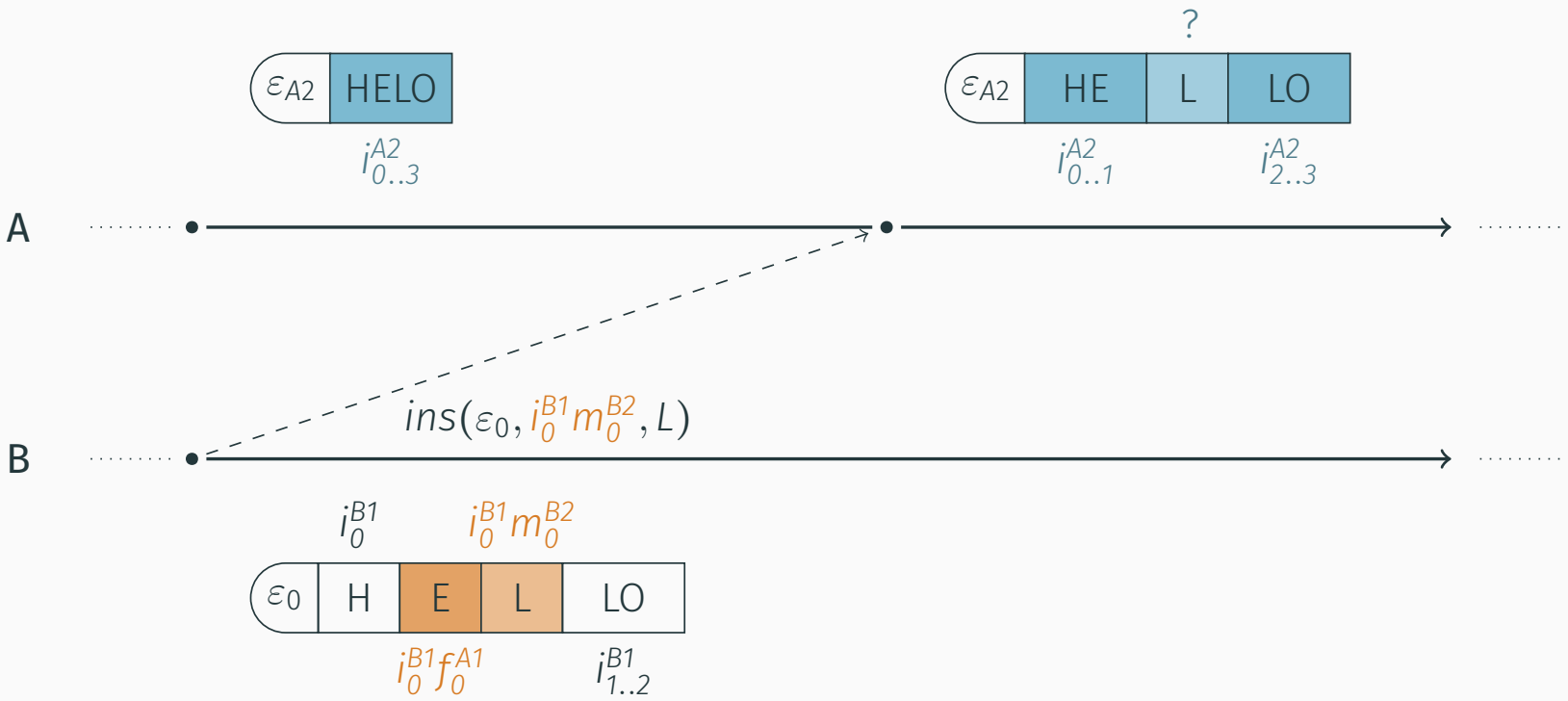
- Prend la forme de l'algorithme `renameId`
- Inclure l'effet de l'opération *rename* dans l'opération transformée

Exemple de `renameId`



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

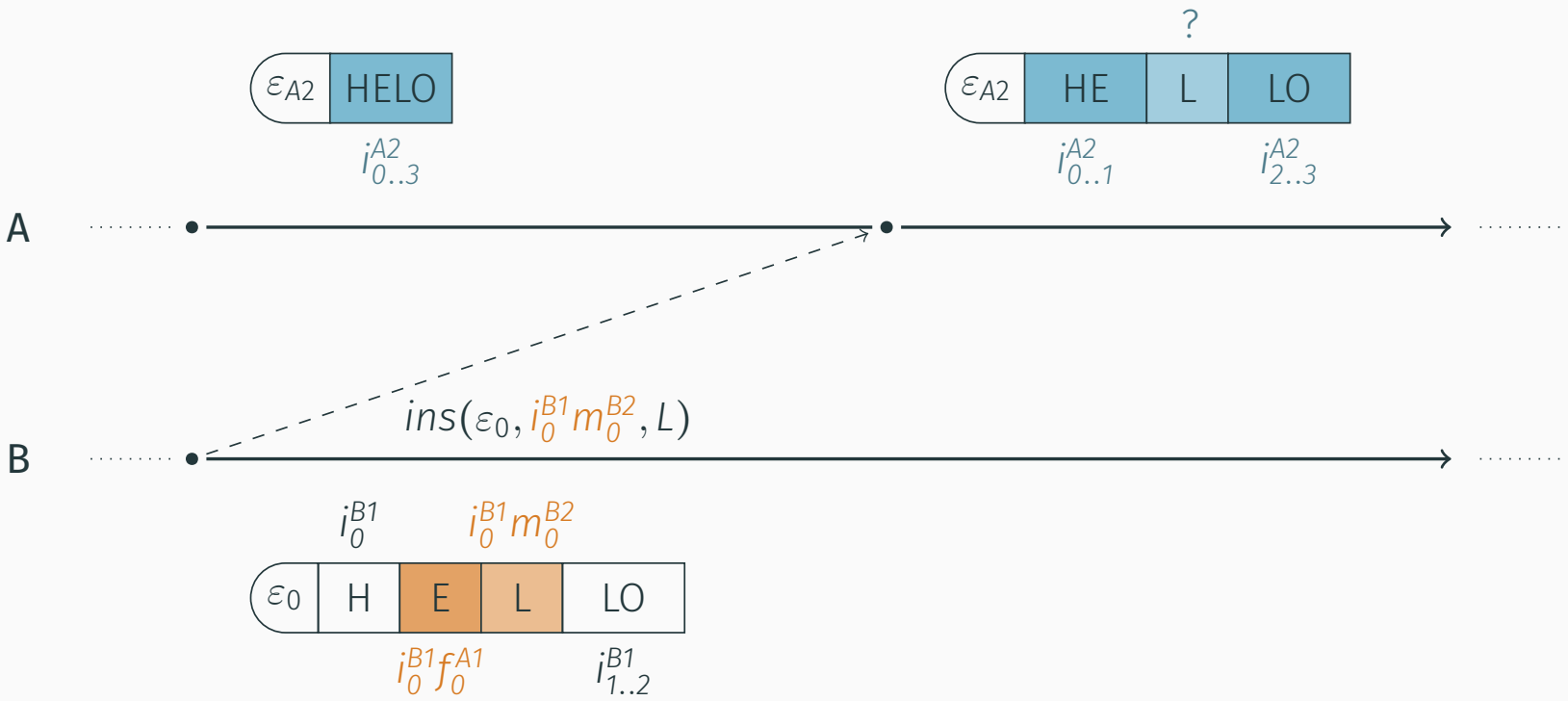
Exemple de `renameId`



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

- Trouver son prédecesseur à l'époque d'origine ε_0 : $i^{B1}_0 f^{A1}_0$

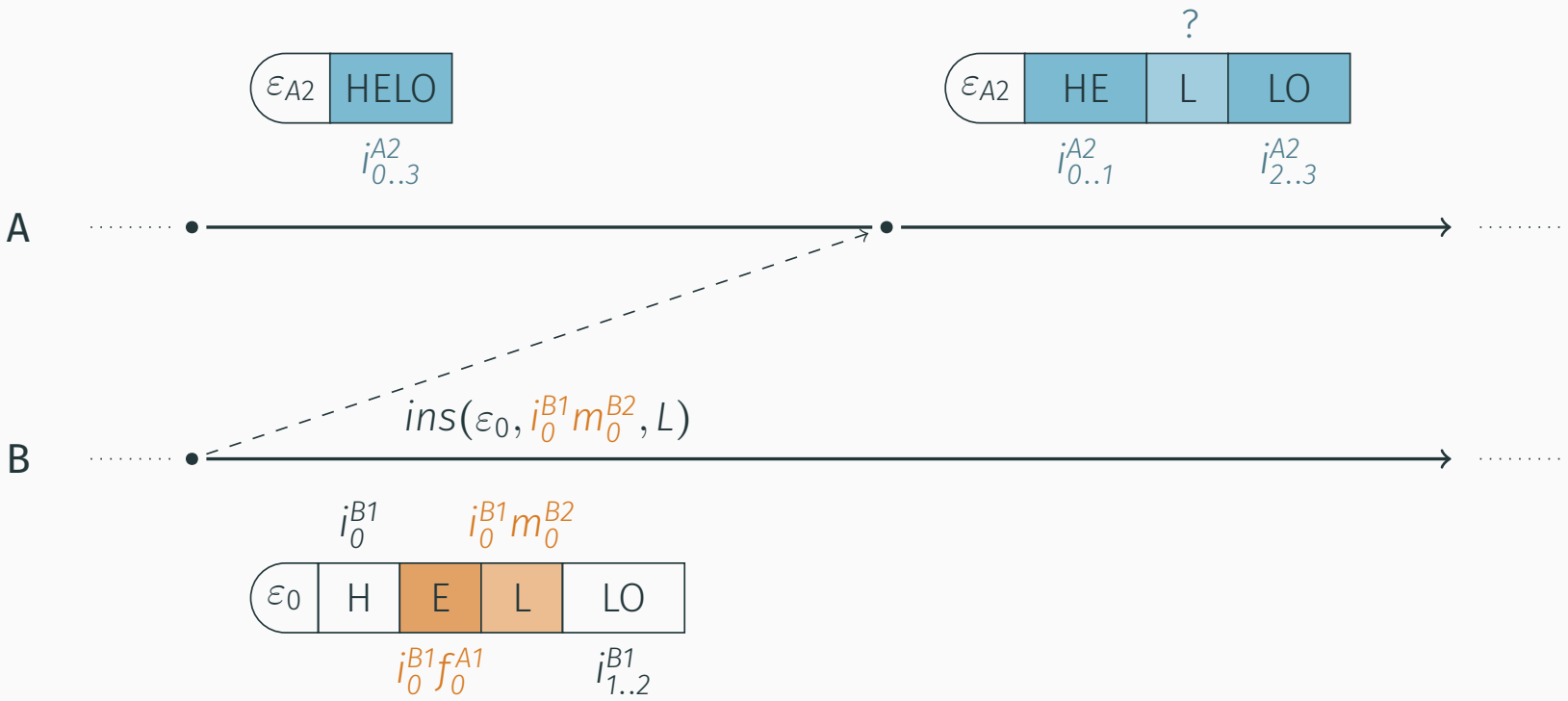
Exemple de `renameId`



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

- Trouver son prédecesseur à l'époque d'origine ε_0 : $i^{B1}_0 f^{A1}_0$
- Trouver son équivalent à l'époque cible ε_{A2} : i^{A2}_1

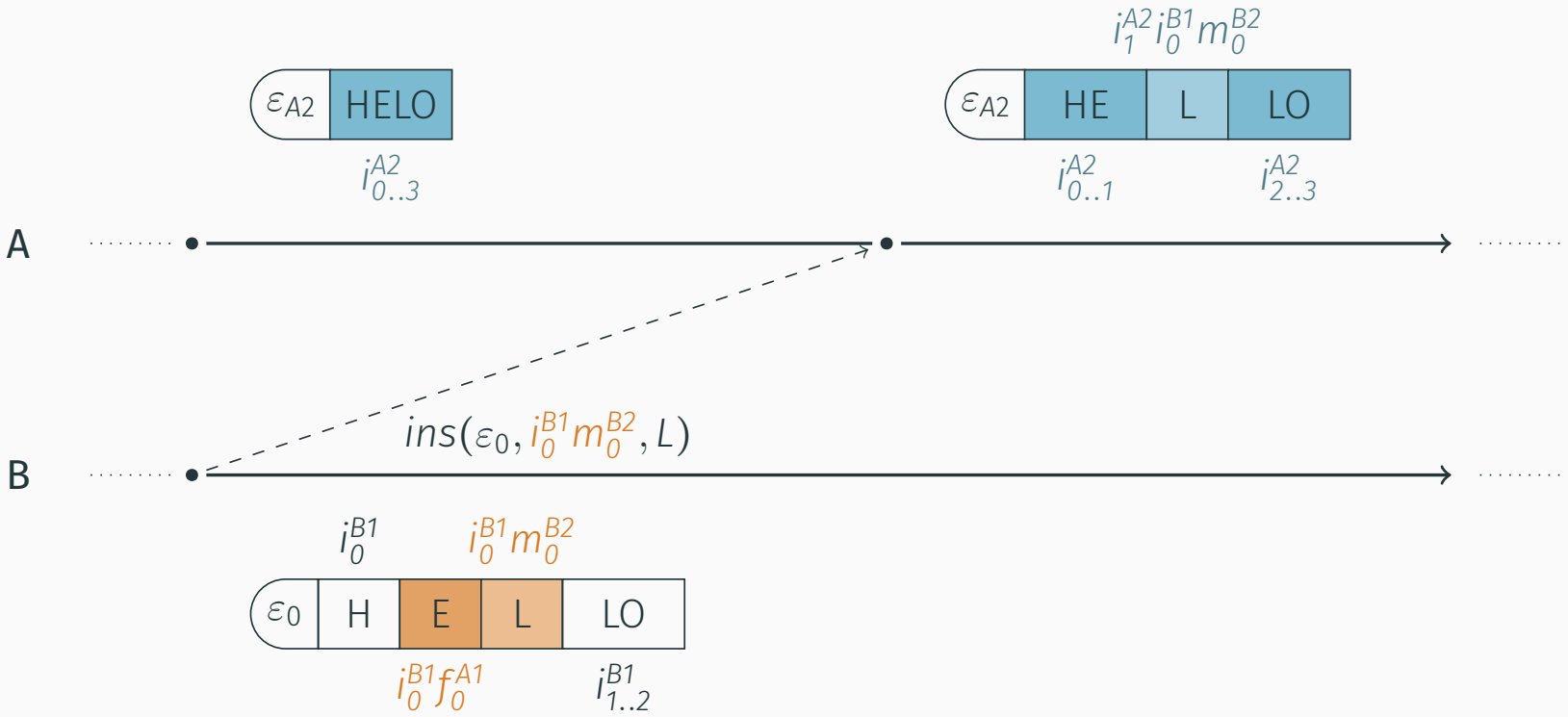
Exemple de `renameId`



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

- Trouver son prédecesseur à l'époque d'origine ε_0 : $i^{B1}_0 f^{A1}_0$
- Trouver son équivalent à l'époque cible ε_{A2} : i^{A2}_1
- Préfixer $i^{B1}_0 m^{B2}_0$ par ce dernier pour obtenir son équivalent à ε_{A2} : $i^{A2}_1 i^{B1}_0 m^{B2}_0$

Exemple de `renameId`



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

- Trouver son prédecesseur à l'époque d'origine ε_0 : $i_0^{B1} f_0^{A1}$
- Trouver son équivalent à l'époque cible ε_{A2} : i_1^{A2}
- Préfixer $i_0^{B1} m_0^{B2}$ par ce dernier pour obtenir son équivalent à ε_{A2} : $i_1^{A2} i_0^{B1} m_0^{B2}$