

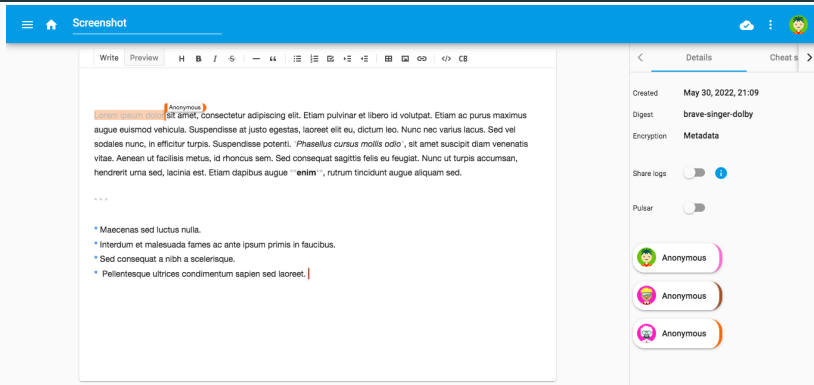
Ré-identification sans coordination dans les types de données répliquées sans conflits

Matthieu Nicolas (matthieu.nicolas@loria.fr)

20 décembre 2022

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

MUTE^{*}, un exemple de Local-First Software (LFS)^[1]

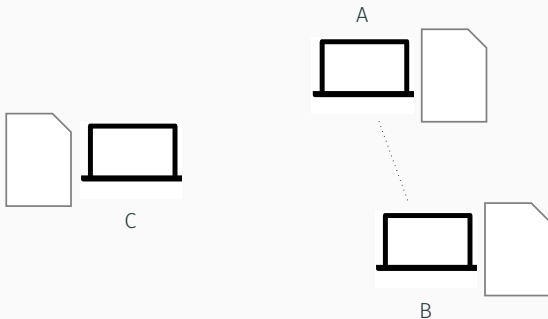


- Application pair-à-pair
- Permet de rédiger collaborativement des documents texte
- Garantit la confidentialité & souveraineté des données

*. Disponible à : <https://mutehost.loria.fr>

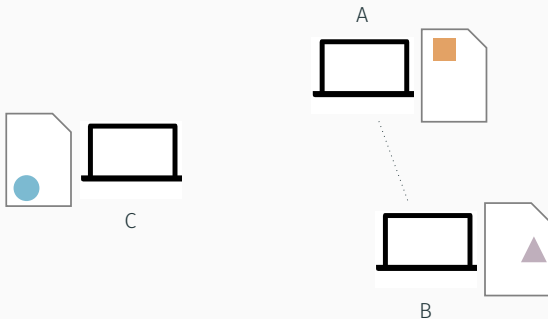
[1]. KLEPPMANN et al., « Local-First Software : You Own Your Data, in Spite of the Cloud ».

Réplication dans applications collaboratives pair-à-pair



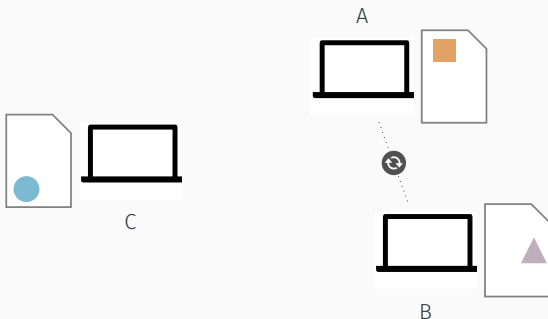
[2]. TERRY et al., « Managing Update Conflicts in Bayou, a Weakly Connected Replicated Storage System ».

Réplication dans applications collaboratives pair-à-pair



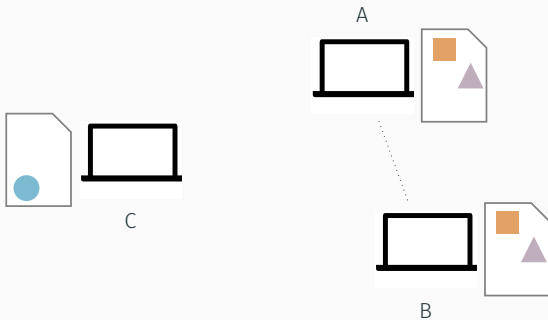
[2]. TERRY et al., « Managing Update Conflicts in Bayou, a Weakly Connected Replicated Storage System ».

Réplication dans applications collaboratives pair-à-pair



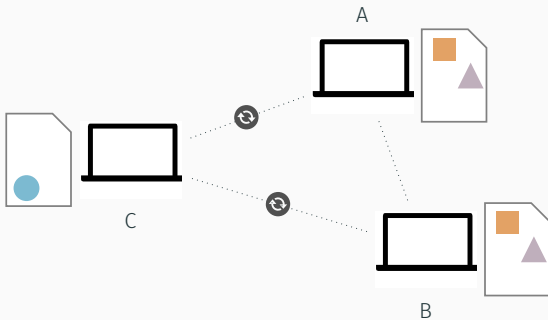
[2]. TERRY et al., « Managing Update Conflicts in Bayou, a Weakly Connected Replicated Storage System ».

Réplication dans applications collaboratives pair-à-pair



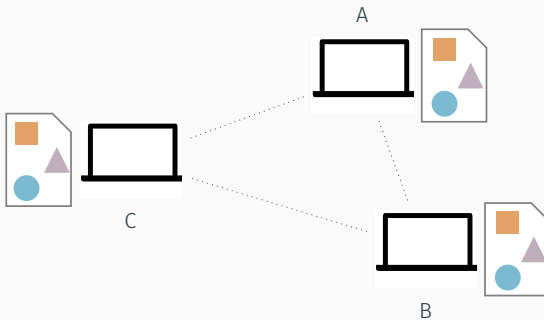
[2]. TERRY et al., « Managing Update Conflicts in Bayou, a Weakly Connected Replicated Storage System ».

Réplication dans applications collaboratives pair-à-pair



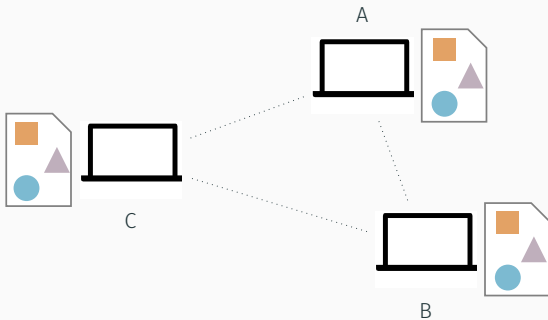
[2]. TERRY et al., « Managing Update Conflicts in Bayou, a Weakly Connected Replicated Storage System ».

Réplication dans applications collaboratives pair-à-pair



[2]. TERRY et al., « Managing Update Conflicts in Bayou, a Weakly Connected Replicated Storage System ».

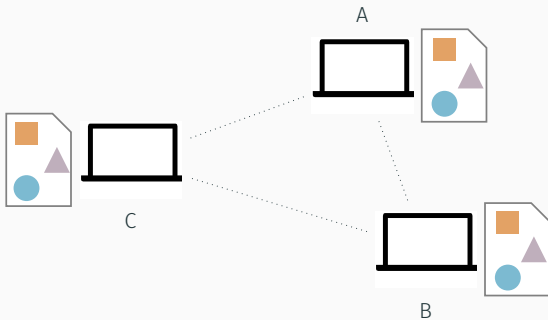
Réplication dans applications collaboratives pair-à-pair



- Doit garantir **convergence à terme** ^[2]...
- ...malgré ordres différents d'intégration des modifications

[2]. TERRY et al., « Managing Update Conflicts in Bayou, a Weakly Connected Replicated Storage System ».

Réplication dans applications collaboratives pair-à-pair



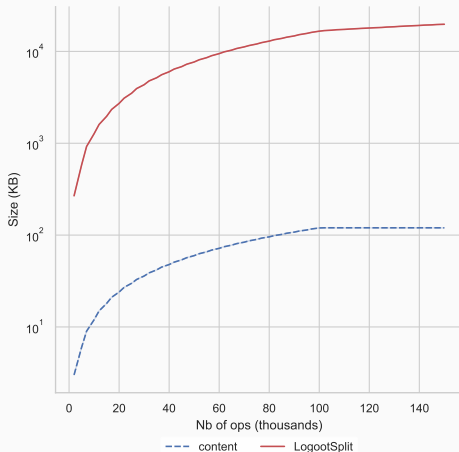
- Doit garantir **convergence à terme** ^[2]...
- ...malgré ordres différents d'intégration des modifications

Nécessite des mécanismes de résolution de conflits

[2]. TERRY et al., « Managing Update Conflicts in Bayou, a Weakly Connected Replicated Storage System ».

Évaluation de MUTE

Taille du texte comparée à taille de la séquence répliquée

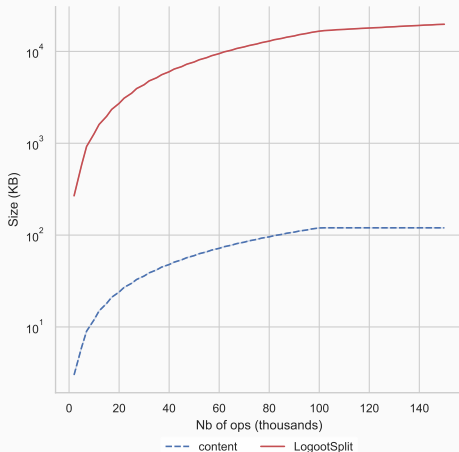


Constat

- 1% contenu...
- ...99% métadonnées

Évaluation de MUTE

Taille du texte comparée à taille de la séquence répliquée



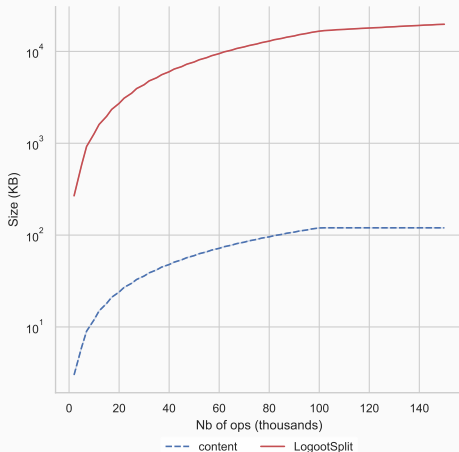
Constat

- 1% contenu...
- ...99% métadonnées

Et ça augmente!

Évaluation de MUTE

Taille du texte comparée à taille de la séquence répliquée



Constat

- 1% contenu...
- ...99% métadonnées

Et ça augmente !

Impact

- Surcoût **mémoire**...
- ...mais aussi surcoût en **calculs** et en **bande-passante**

Comment peut-on réduire le surcoût des
mécanismes de résolution de conflits dans les
applications pair-à-pair ?

Conflict-free Replicated Data Types (CRDTs)^[3]

- Nouvelles spécifications des types de données, e.g. *Ensemble* ou *Séquence*
- Incorpore nativement mécanisme de résolution de conflits

[3]. SHAPIRO et al., « Conflict-Free Replicated Data Types ».

Conflict-free Replicated Data Types (CRDTs)^[3]

- Nouvelles spécifications des types de données, e.g. *Ensemble* ou *Séquence*
- Incorpore nativement mécanisme de résolution de conflits

Propriétés des CRDTs

- Permettent modifications **sans coordination**
- Garantissent la **convergence forte**

[3]. SHAPIRO et al., « Conflict-Free Replicated Data Types ».

Conflict-free Replicated Data Types (CRDTs)^[3]

- Nouvelles spécifications des types de données, e.g. *Ensemble* ou *Séquence*
- Incorpore nativement mécanisme de résolution de conflits

Propriétés des CRDTs

- Permettent modifications **sans coordination**
- Garantissent la **convergence forte**

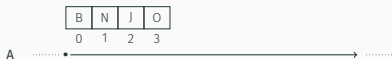
Convergence forte

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

[3]. SHAPIRO et al., « Conflict-Free Replicated Data Types ».

CRDTs pour le type Séquence

Type Séquence séquentiel



[4]. PREGUICA et al., « A Commutative Replicated Data Type for Cooperative Editing ».

[5]. ANDRÉ et al., « Supporting Adaptable Granularity of Changes for Massive-Scale Collaborative Editing ».

CRDTs pour le type Séquence

Type Séquence séquentiel



[4]. PREGUICA et al., « A Commutative Replicated Data Type for Cooperative Editing ».

[5]. ANDRÉ et al., « Supporting Adaptable Granularity of Changes for Massive-Scale Collaborative Editing ».

Type Séquence séquentiel



[4]. PREGUICA et al., « A Commutative Replicated Data Type for Cooperative Editing ».

[5]. ANDRÉ et al., « Supporting Adaptable Granularity of Changes for Massive-Scale Collaborative Editing ».

CRDTs pour le type Séquence

Type Séquence séquentiel



[4]. PREGUICA et al., « A Commutative Replicated Data Type for Cooperative Editing ».

[5]. ANDRÉ et al., « Supporting Adaptable Granularity of Changes for Massive-Scale Collaborative Editing ».

CRDTs pour le type Séquence

Type Séquence séquentiel



[4]. PREGUICA et al., « A Commutative Replicated Data Type for Cooperative Editing ».

[5]. ANDRÉ et al., « Supporting Adaptable Granularity of Changes for Massive-Scale Collaborative Editing ».

CRDTs pour le type Séquence

Type Séquence séquentiel



- Changements des indices est **source de conflits**

[4]. PREGUICA et al., « A Commutative Replicated Data Type for Cooperative Editing ».

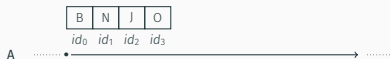
[5]. ANDRÉ et al., « Supporting Adaptable Granularity of Changes for Massive-Scale Collaborative Editing ».

CRDTs pour le type Séquence

Type Séquence séquentiel



CRDTs pour Séquence



- Changements des indices est **source de conflits**
- Assigne des **identifiants de position**^[4] à chaque élément
- Permettent d'**ordonner les éléments**

[4]. PREGUICA et al., « A Commutative Replicated Data Type for Cooperative Editing ».

[5]. ANDRÉ et al., « Supporting Adaptable Granularity of Changes for Massive-Scale Collaborative Editing ».

CRDTs pour le type Séquence

Type Séquence séquentiel



CRDTs pour Séquence



- Changements des indices est **source de conflits**
- Assigne des **identifiants de position**^[4] à chaque élément
- Permettent d'**ordonner les éléments**

$$id_0 <_{id} id_1 <_{id} id_2 <_{id} id_3$$

[4]. PREGUICA et al., « A Commutative Replicated Data Type for Cooperative Editing ».

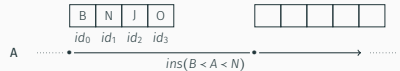
[5]. ANDRÉ et al., « Supporting Adaptable Granularity of Changes for Massive-Scale Collaborative Editing ».

CRDTs pour le type Séquence

Type Séquence séquentiel



CRDTs pour Séquence



- Changements des indices est **source de conflits**
- Assigne des **identifiants de position**^[4] à chaque élément
- Permettent d'**ordonner les éléments**

$$id_0 <_{id} id_1 <_{id} id_2 <_{id} id_3$$

[4]. PREGUICA et al., « A Commutative Replicated Data Type for Cooperative Editing ».

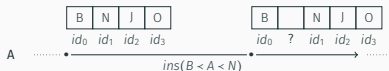
[5]. ANDRÉ et al., « Supporting Adaptable Granularity of Changes for Massive-Scale Collaborative Editing ».

CRDTs pour le type Séquence

Type Séquence séquentiel



CRDTs pour Séquence



- Changements des indices est **source de conflits**
- Assigne des **identifiants de position**^[4] à chaque élément
- Permettent d'**ordonner les éléments**

$$id_0 <_{id} id_1 <_{id} id_2 <_{id} id_3$$

- Nécessaire que les identifiants appartiennent à un **espace dense**

[4]. PREGUICA et al., « A Commutative Replicated Data Type for Cooperative Editing ».

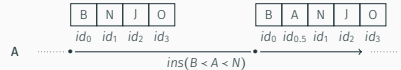
[5]. ANDRÉ et al., « Supporting Adaptable Granularity of Changes for Massive-Scale Collaborative Editing ».

CRDTs pour le type Séquence

Type Séquence séquentiel



CRDTs pour Séquence



- Changements des indices est **source de conflits**
- Assigne des **identifiants de position**^[4] à chaque élément
- Permettent d'**ordonner les éléments**

$$id_0 <_{id} id_1 <_{id} id_2 <_{id} id_3$$

- Nécessaire que les identifiants appartiennent à un **espace dense**

$$id_0 <_{id} id_{0.5} <_{id} id_1$$

[4]. PREGUICA et al., « A Commutative Replicated Data Type for Cooperative Editing ».

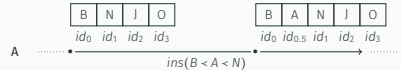
[5]. ANDRÉ et al., « Supporting Adaptable Granularity of Changes for Massive-Scale Collaborative Editing ».

CRDTs pour le type Séquence

Type Séquence séquentiel



CRDTs pour Séquence



- Changements des indices est **source de conflits**
- Assigne des **identifiants de position**^[4] à chaque élément
- Permettent d'**ordonner les éléments**

$$id_0 <_{id} id_1 <_{id} id_2 <_{id} id_3$$

- Nécessaire que les identifiants appartiennent à un **espace dense**

$$id_0 <_{id} id_{0.5} <_{id} id_1$$

Utilise LogootSplit^[5] comme base

[4]. PREGUICA et al., « A Commutative Replicated Data Type for Cooperative Editing ».

[5]. ANDRÉ et al., « Supporting Adaptable Granularity of Changes for Massive-Scale Collaborative Editing ».

LogootSplit^[7], un CRDT pour le type Séquence

- Assigne **identifiant de position** à chaque élément de la séquence

[6]. PREGUICA et al., « A Commutative Replicated Data Type for Cooperative Editing ».

[7]. ANDRÉ et al., « Supporting Adaptable Granularity of Changes for Massive-Scale Collaborative Editing ».

LogootSplit^[7], un CRDT pour le type Séquence

- Assigne **identifiant de position** à chaque élément de la séquence

Propriétés des identifiants de position^[6]

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

[6]. PREGUICA et al., « A Commutative Replicated Data Type for Cooperative Editing ».

[7]. ANDRÉ et al., « Supporting Adaptable Granularity of Changes for Massive-Scale Collaborative Editing ».

LogootSplit^[7], un CRDT pour le type Séquence

- Assigne **identifiant de position** à chaque élément de la séquence

Propriétés des identifiants de position^[6]

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**

[6]. PREGUICA et al., « A Commutative Replicated Data Type for Cooperative Editing ».

[7]. ANDRÉ et al., « Supporting Adaptable Granularity of Changes for Massive-Scale Collaborative Editing ».

Identifiant

- Composé d'un ou plusieurs tuples de la forme

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

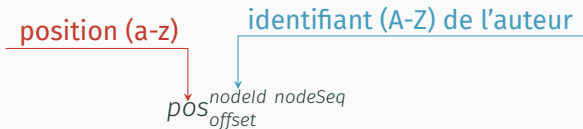
Identifiant

- Composé d'un ou plusieurs tuples de la forme

position (a-z)
↓
pos^{*nodeId nodeSeq*}_{*offset*}

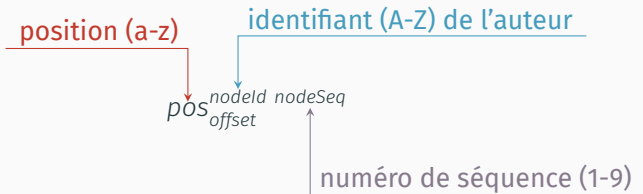
Identifiant

- Composé d'un ou plusieurs tuples de la forme



Identifiant

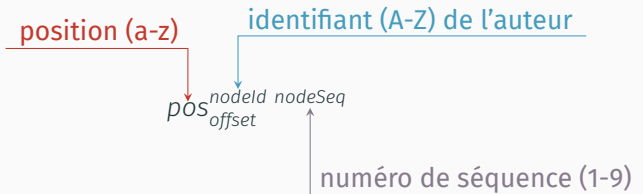
- Composé d'un ou plusieurs tuples de la forme



Identifiant LogootSplit

Identifiant

- Composé d'un ou plusieurs tuples de la forme



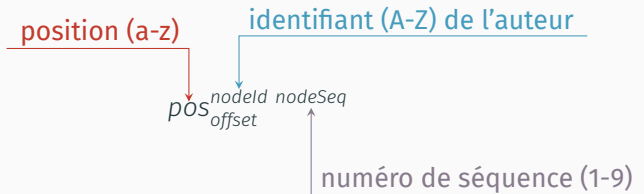
Exemples

d_0^{F5}

Identifiant LogootSplit

Identifiant

- Composé d'un ou plusieurs tuples de la forme



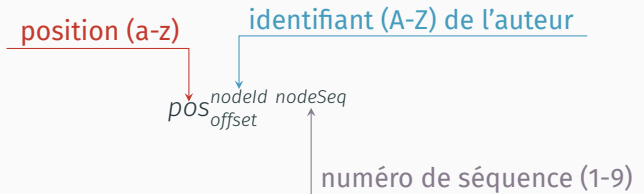
Exemples

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

Identifiant LogootSplit

Identifiant

- Composé d'un ou plusieurs tuples de la forme



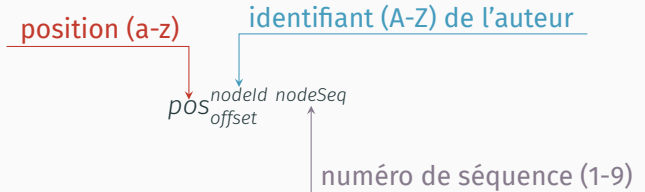
Exemples

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

Identifiant LogootSplit

Identifiant

- Composé d'un ou plusieurs tuples de la forme



Exemples

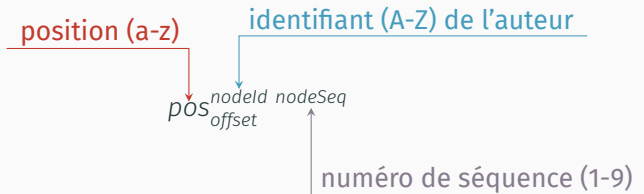
$$d_0^{F5} <_{id} m_0^{C1} <_{id} m_0^{C1} f_0^{E1}$$

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

Identifiant LogootSplit

Identifiant

- Composé d'un ou plusieurs tuples de la forme



Exemples

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

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

- Coûteux de stocker les identifiants de chaque élément

B	A	N	J	O
m_0^{C1}	m_1^{C1}	m_2^{C1}	m_3^{C1}	m_4^{C1}

Bloc LogootSplit

- Coûteux de stocker les identifiants de chaque élément

B	A	N	J	O
m_0^{C1}	m_1^{C1}	m_2^{C1}	m_3^{C1}	m_4^{C1}

- 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

B	A	N	J	O
m_0^{C1}	m_1^{C1}	m_2^{C1}	m_3^{C1}	m_4^{C1}

- Aggrège en un **bloc** éléments ayant **identifiants contigus**

Identifiants contigus

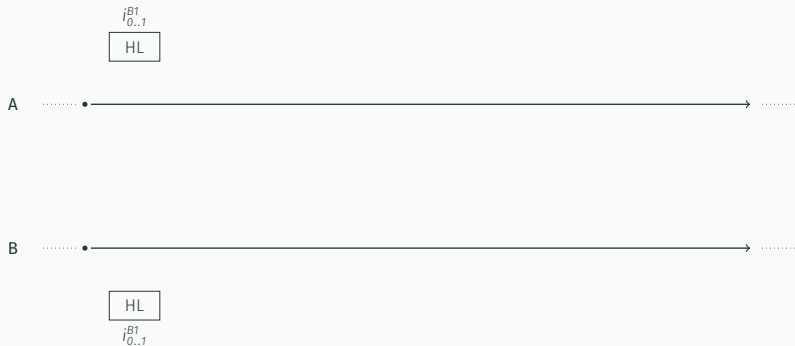
Deux identifiants sont contigus si et seulement si les deux identifiants sont identiques à l'exception de leur dernier offset et que leur derniers offsets sont consécutifs.

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

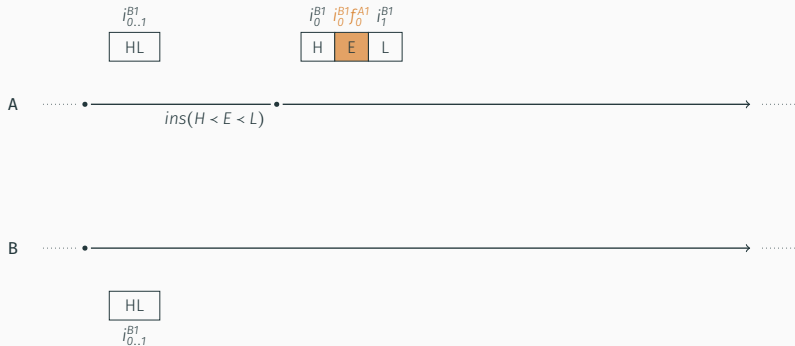
BANJO

$m_{0..4}^{C1}$

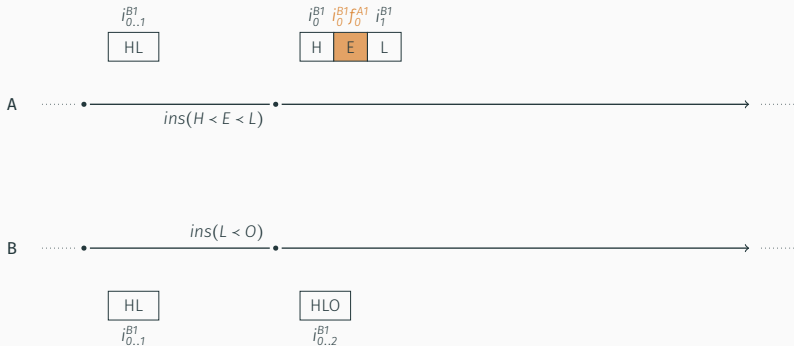
Exemple insertions concurrentes



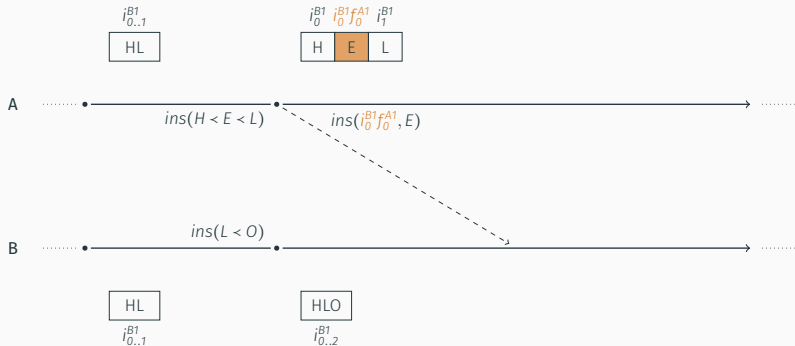
Exemple insertions concurrentes



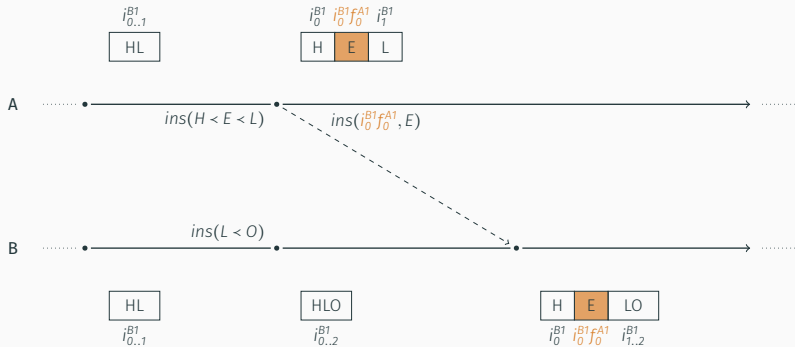
Exemple insertions concurrentes



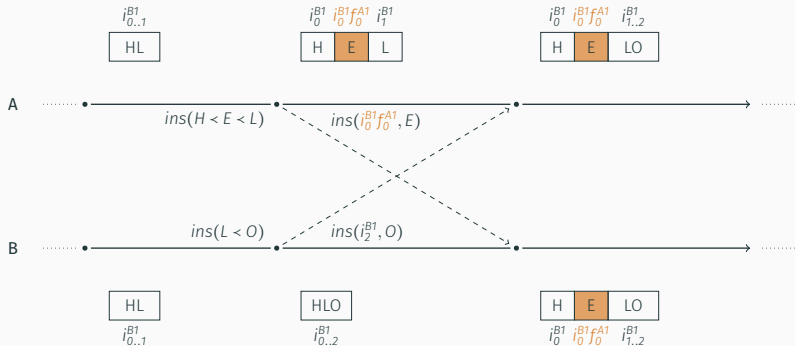
Exemple insertions concurrentes



Exemple insertions concurrentes



Exemple insertions concurrentes



Limites de LogootSplit

Sources croissance métadonnées

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

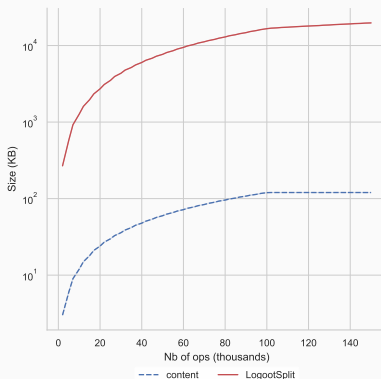


Figure 1 – Taille du contenu comparée à la taille de la séquence LogootSplit

L'approche core-nebula^[8], pour Treedoc

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

[8]. ZAWIRSKI et al., « Asynchronous rebalancing of a replicated tree ».

L'approche core-nebula^[8], pour Treedoc

- 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

[8]. ZAWIRSKI et al., « Asynchronous rebalancing of a replicated tree ».

L'approche core-nebula^[8], pour Treedoc

- 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

[8]. ZAWIRSKI et al., « Asynchronous rebalancing of a replicated tree ».

Proposition

Mécanisme de renommage supportant les
renommages concurrents