

# Réseaux dynamiques - des données aux modèles et applications

**Anh-Dung Nguyen**  
ISAE-Université de Toulouse



# Plan

- Contexte
- Modélisation des réseaux dynamiques
- Structure petit-monde
- Impact du désordre
- Application au routage centré sur le contenu
- Application au mobile cloud computing
- Conclusion & Perspectives

# Réseaux opportunistes

- Internet d'aujourd'hui :
  - Basé sur l'infrastructure
  - De plus en plus des ressources de communication à la périphérie
- Réseaux opportuniste mobiles : réseaux créés par des contacts intermittents entre noeuds, pas de garantie de la connectivité de bout en bout
- Usage des réseaux opportunistes mobiles pour :
  - Réduire la charge au coeur du réseau
  - Complémenter les réseaux basés sur l'infrastructure
  - Offrir des services de communication potentiellement gratuits
  - Ex: offloading, crowdsourcing, distribution/partage de contenu, internet des objets
- L'humain est le point central de ces réseaux → besoin de comprendre, modéliser les impacts de l'humain sur ce type de réseau

# Plan

- Contexte
- **Modélisation des réseaux dynamiques**

# Modéliser des réseaux opportunistes

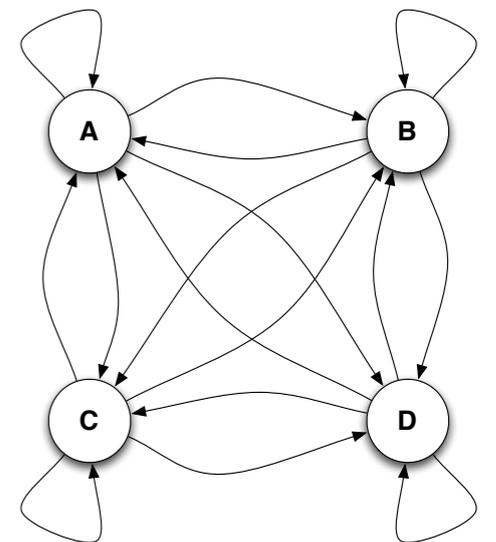
- La mobilité est une propriété intrinsèque de ces réseaux
- Mobilité = générateur des contacts
- Modèles de mobilité humaine existants
  - simples mais pas réalistes/complexes mais difficiles à configurer
  - lacunes en terme de modélisation des caractéristiques spatio-temporelles souvent observées sur des traces réelles
- **Besoin d'un nouveau modèle capable de couvrir un large spectre de schémas de mobilité humaine → STEPS**

# STEPS

- Caractéristiques des mouvements humains
  - Les gens se déplacent entre un nombre fini de zones
  - Périodicité
  - Certains sites sont plus visités que d'autres
  - Certaines personnes sont plus mobiles que d'autres
- Principes de mobilité humaine portés par STEPS
  - Attachement préférentiel
  - Attraction

# STEPS

- Mobilité humaine modélisée par une chaîne de Markov
  - État = zone d'attachement
  - Transitions = mouvements entre zones
- Choix de la distribution de probabilité ?
  - Résultats déjà trouvés pour la distribution des distances parcourues, temps d'inter-contact/contact, temps de pause
  - Comportement de lois de puissance observé sur les traces réelles



# STEPS

- Définition

- STEPS = Spatio-TEmporal Parameter Stepping
- 1 tore divisé en N zones
- distance métrique entre zones
- chaque noeud est associé à une zone préférentielle
- dans chaque zone, les noeuds bougent selon RWP
- le mouvement entre zones est régi par

$$P[Z = z_i] = d_{z_0 z_i}^{-\alpha}$$

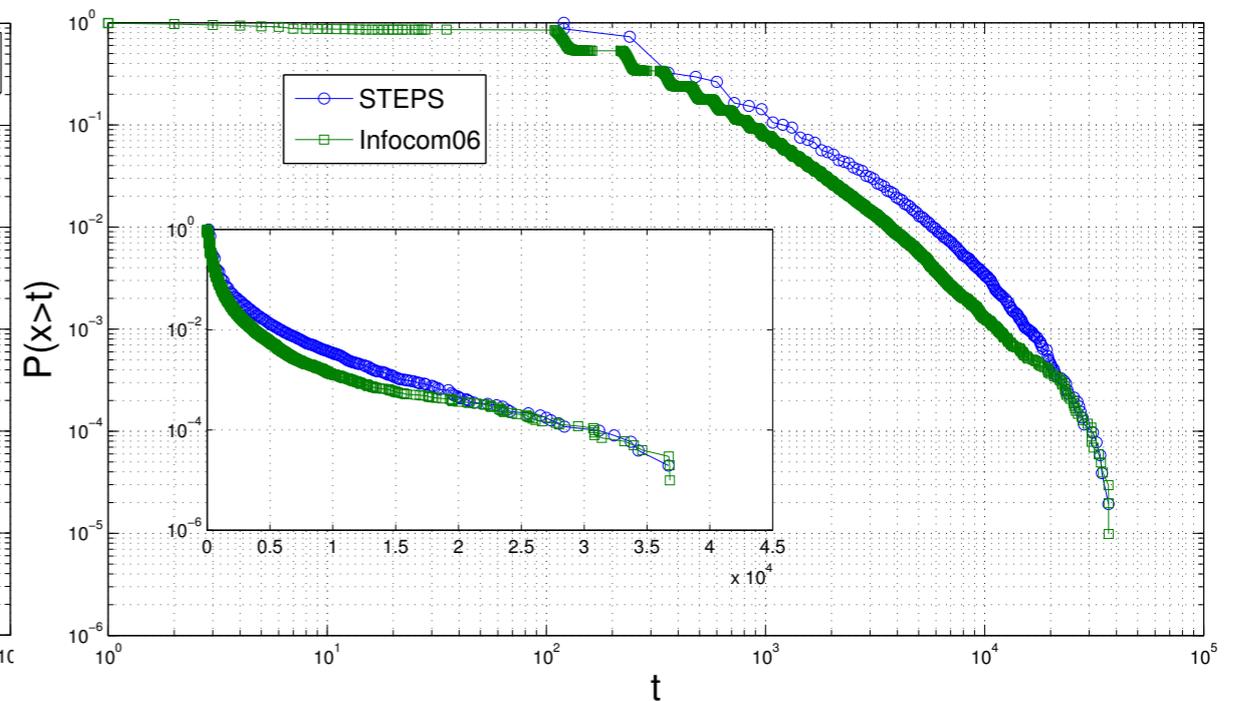
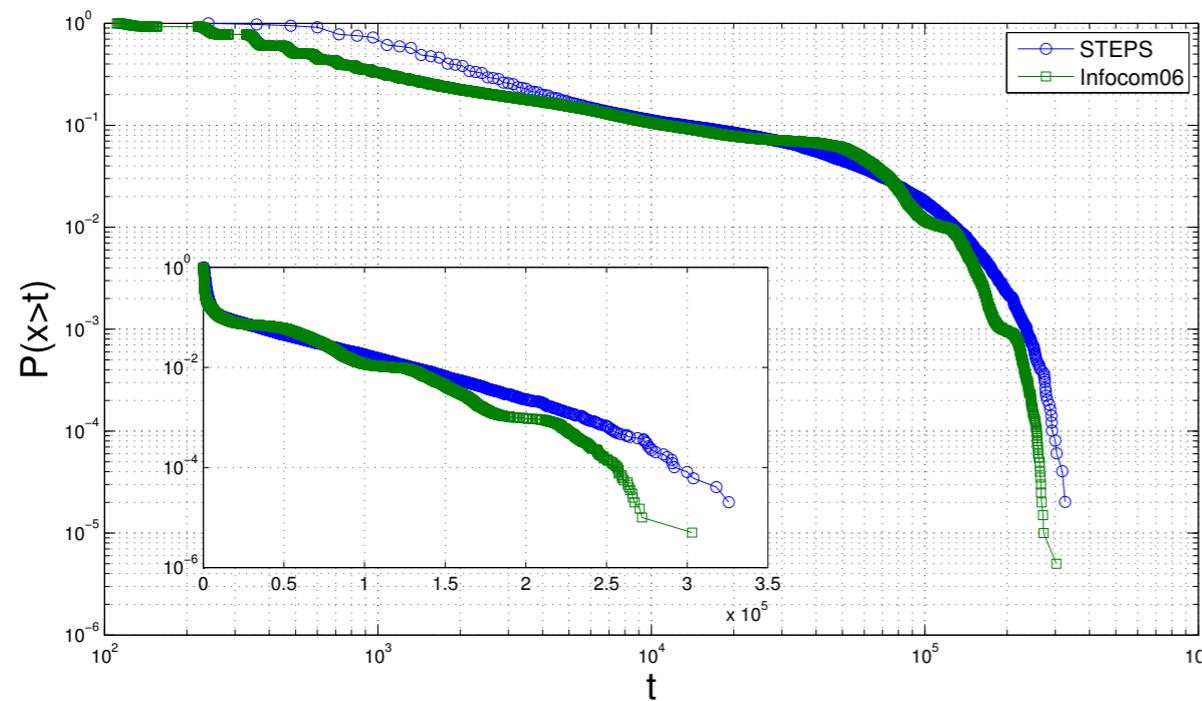
- Un large spectre de mobilité humaine

- $\alpha \rightarrow 0$  comportement nomade
- $\alpha = 0$ : comportement uniforme
- $\alpha \rightarrow \infty$  comportement localisé

|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 1 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 1 | A | 1 | 2 | 2 |
| 1 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |

# STEPS

- Résultats
  - Capacité de STEPS
    - Capturer les caractéristiques fondamentales de la mobilité humaine observées sur les traces réelles
    - Reproduire les performances de routage observées sur les traces réelles
    - Comprendre des propriétés structurelles du graphe dynamique sous-jacent



# Publications

- **STEPS-A New Approach for Human Mobility Modeling**  
*Anh-Dung Nguyen, Patrick Senac, Victor Ramiro, Michel Diaz*  
IFIP NETWORKING 2011
- **Behavioral and Structural Analysis of Mobile Cloud Opportunistic Networks**  
*Anh-Dung Nguyen, Patrick Senac, Michel Diaz*  
Opportunistic Mobile Social Networks, CRC Press, 2014
- **Modeling Opportunistic Networks - from Mobility to Structural and Behavioral Analysis**  
*Anh-Dung Nguyen, Patrick Senac, Michel Diaz*  
Elsevier Ad Hoc Networks, 2014 (en soumission)

# Plan

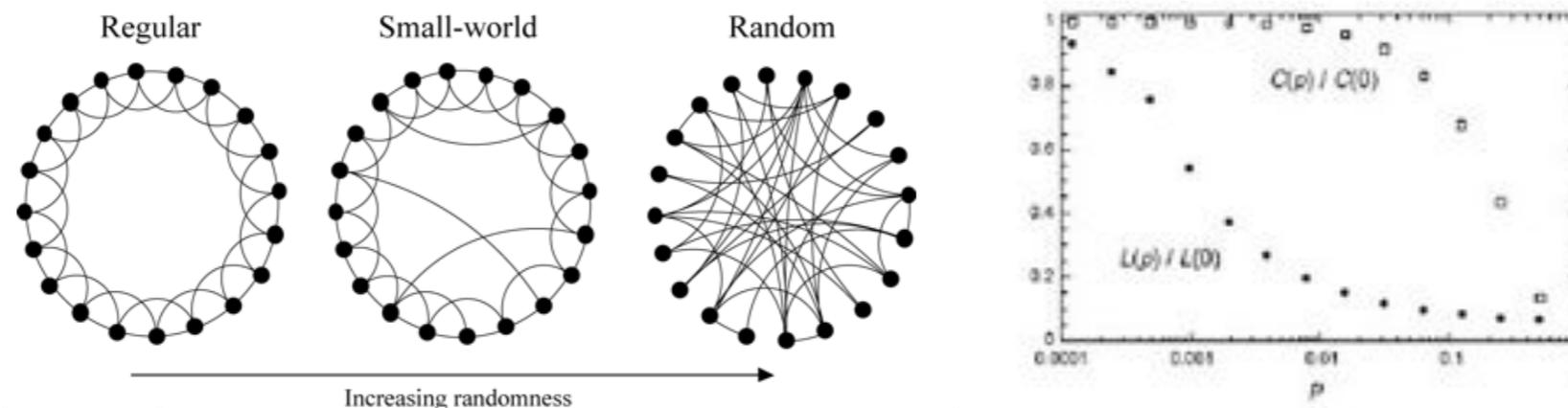
- Introduction
- Modélisation
- **Structure petit-monde**

# Analyse structurelle

- Comprendre les propriétés fondamentales des réseaux dynamiques pour
  - Évaluer les performances et la sensibilité des protocoles
  - Adapter ces protocoles à ces propriétés
- Graphe dynamique - un domaine de recherche récent nécessitant
  - Étude des propriétés
  - Nouveaux modèles
  - Définition des métriques permettant de quantifier, classifier les graphes
  - Nouveaux algorithmes (problème du plus court chemin, clustering, détection de communauté, ...)
- *Approche : STEPS + analyses de traces → Propriétés structurelles des réseaux dynamiques → Adaptation du routage aux propriétés structurelles*

# Structure petit-monde

- 1969 : Expérience de Milgram
- 1998 : Modèle de Watts et Strogatz pour les graphes statiques



- Phénomène de petit-monde observé dans des nombreux réseaux statiques réels : fort taux de clusterisation + faible longueur du chemin caractéristique
- Structure de petit-monde → diffusion de l'information aussi rapide que dans des réseaux aléatoires
- Résultats se limitant au contexte statique et ignorant les réseaux dynamiques
- *Besoin de l'étude sur l'émergence et la modélisation de ce phénomène dans les réseaux dynamiques*

# Métriques

- Métriques qualifiant la structure petit-monde dynamique
- Longueur du plus court chemin dynamique
- Taux de clusterisation dynamique

# Longueur du plus court chemin dynamique

- **Chemin dynamique** : l'ensemble ordonné de liens temporels permettant à un message d'être transmis entre 2 noeuds selon le paradigme stocker-bouger-envoyer
- 2 métriques
  - **délai** : somme des temps inter-contacts
  - **nombre de sauts** : nombre de liens

# Longueur du plus court chemin dynamique

- Chemin dynamique le plus court : le chemin donnant le délai minimum, si il y en a plusieurs, on prend celui qui donne le plus faible nombre de sauts

$$\mathcal{L}_{ij}^{t_0} = \inf \{t - t_0 \mid \exists p_{ij}(t_0, t)\}$$

- La longueur du chemin caractéristique d'un réseau de N noeud est la moyenne des longueurs de chemins les plus courts entre toutes les paires de noeuds
- Algorithme efficace basé sur la matrice d'adjacence pour calculer les longueurs des plus courts chemins dynamiques entre toutes les paires de noeuds dans un graphe dynamique

\*

\* Understanding and modeling the small-world phenomenon in dynamic networks

Anh-Dung Nguyen, Patrick Senac, Michel Diaz

ACM MSWIM 2012

# Taux de clusterisation dynamique

- Réseaux statiques
  - Modèle WS : mesure de “cliquishness” d’un cercle d’amis
  - Newman (2001) : transitivité
- Réseaux dynamiques
  - Tang et al. (2009) : une généralisation de WS pour les graphes temporels, fortement dépendant de l’intervalle de mesure

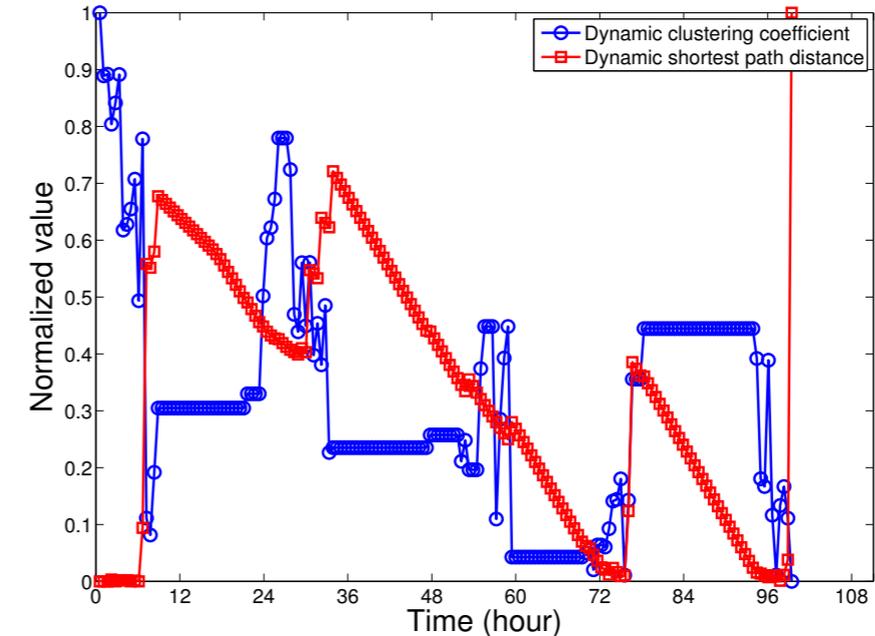
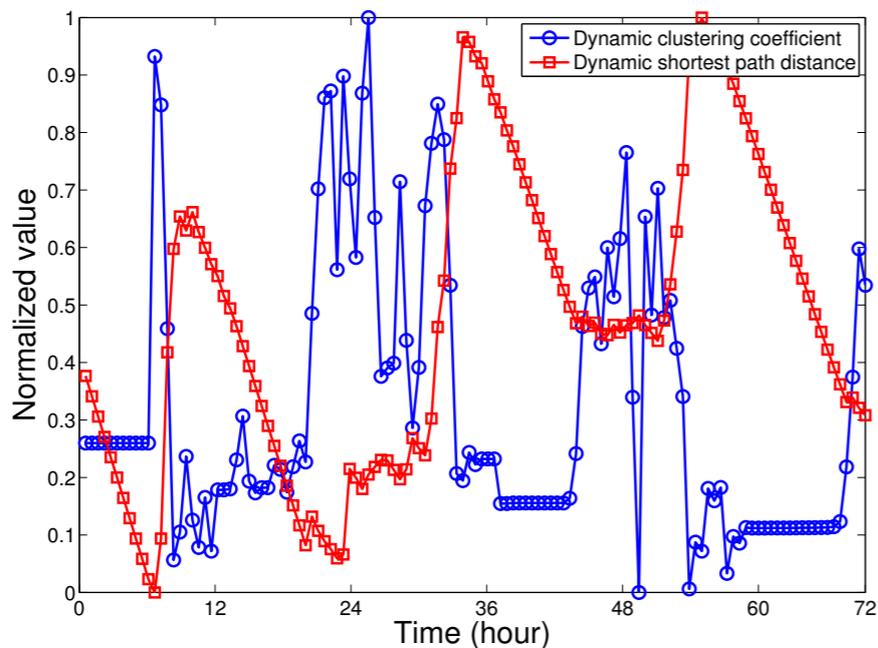
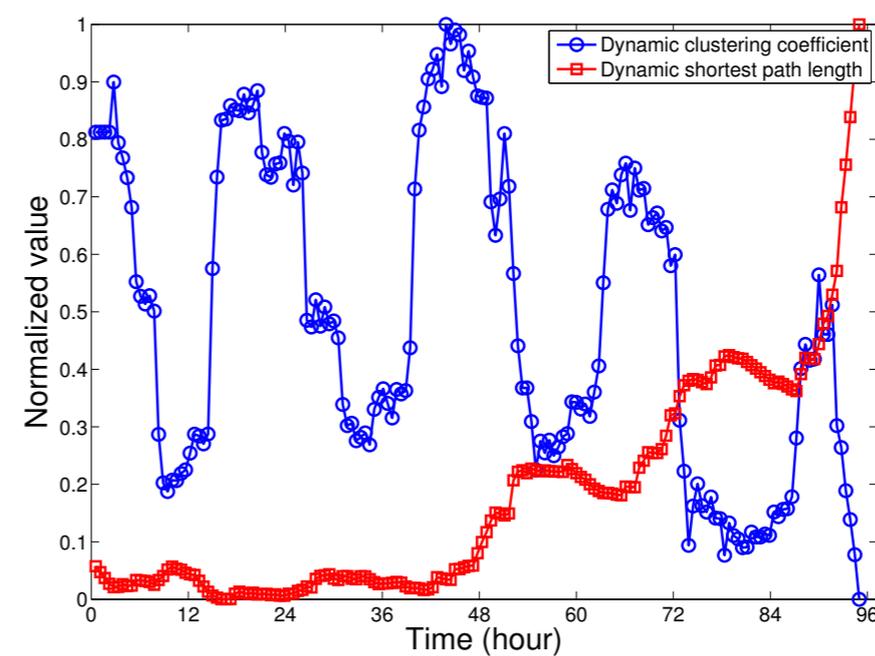
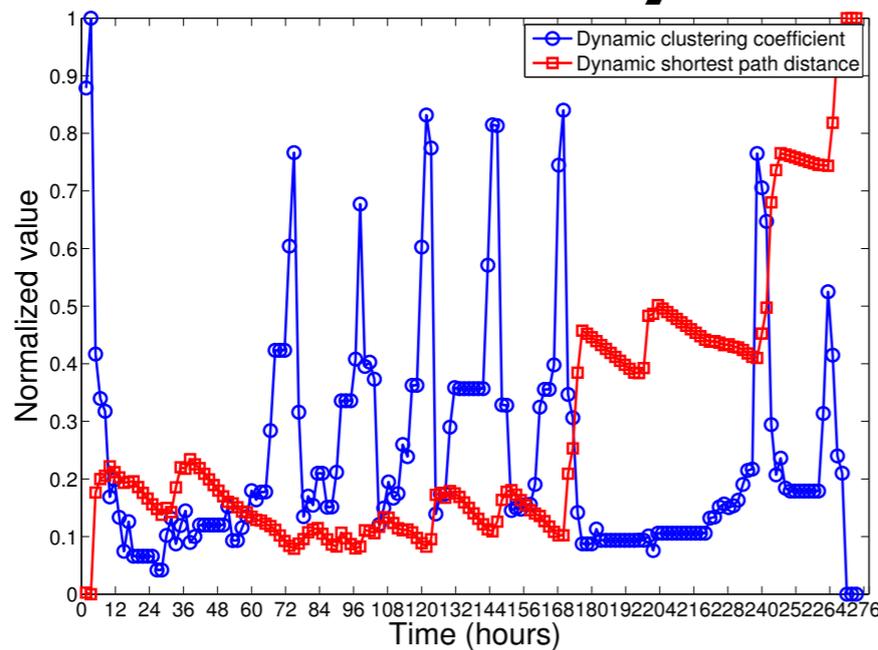
# Taux de clusterisation dynamique

- Chemin dynamique transitif : un chemin de  $i$  à  $j$  est transitif s'il existe un noeud  $k$  et des instants  $t_1, t_2, t_3$  tels que  $i$  est connecté à  $k$  à  $t_1$ ,  $k$  est connecté à  $j$  à  $t_2$ ,  $i$  est connecté à  $j$  à  $t_3$  et  $t_1 \leq t_2 \leq t_3$
- Le taux de clusterisation dynamique d'un noeud  $i$  à partir du temps  $t_0$  est mesuré par l'inverse du temps  $t - t_0$  tel que  $t$  est le premier instant à partir de  $t_0$  où un chemin transitif issu de  $i$  est formé

$$C_i^{t_0} = (t - t_0)^{-1}$$

- Le taux de clusterisation dynamique d'un réseau est la moyenne des taux de clusterisation dynamique de tous les noeuds à partir du temps  $t_0$

# Analyses de traces



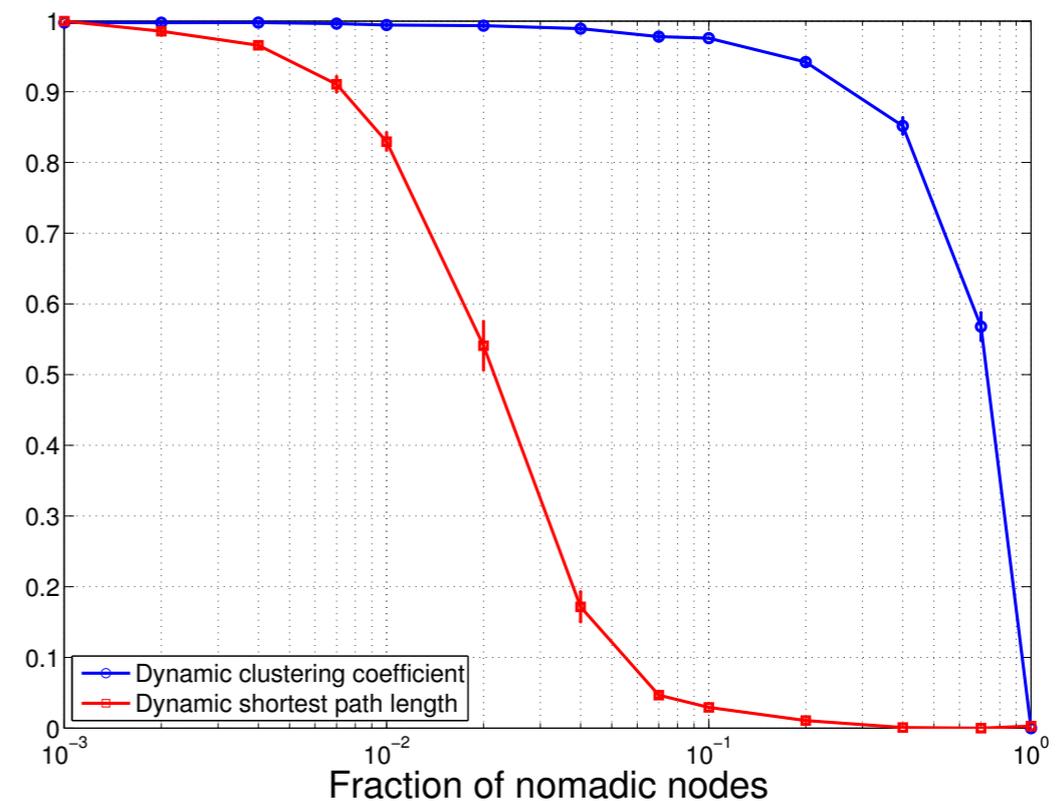
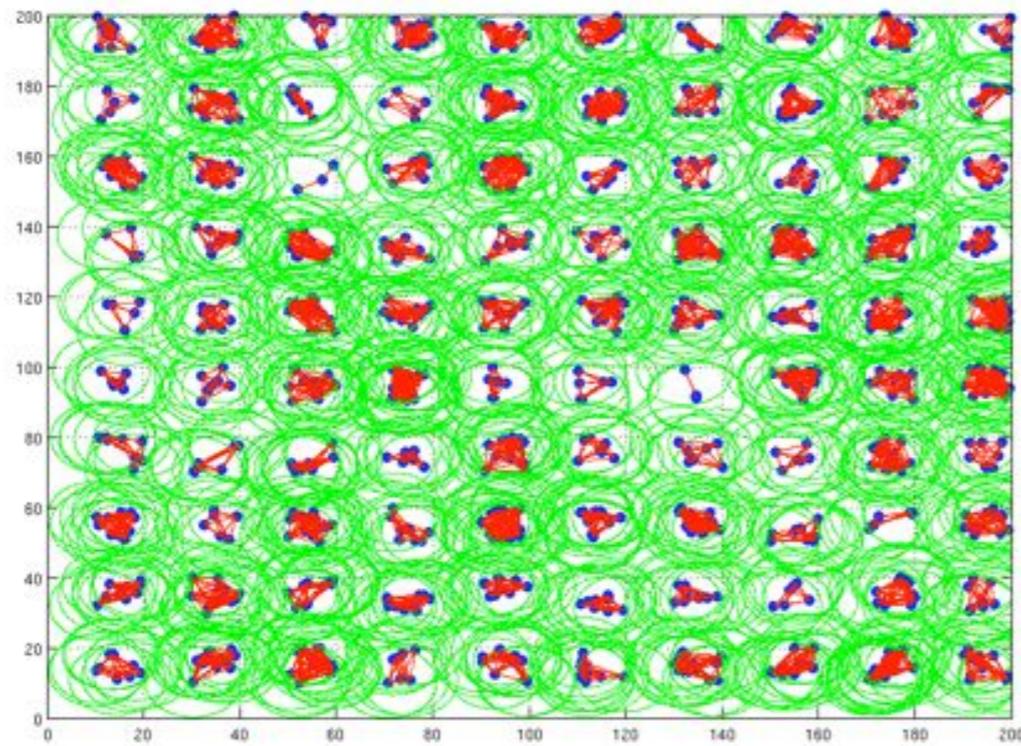
- pattern périodique des 2 métriques avec une période typique de 24 heures et un changement de phase chaque 12 heures
- pendant les phases dynamiques, ces réseaux possèdent un fort taux de clusterisation dynamique et une faible longueur du chemin caractéristique → phénomène de petit-monde → Comment cette structure émerge ?

# Emergence du phénomène

- Modèle WS : émergence du phénomène de petit-monde = introduire aléatoirement des raccourcis (recablage)
- Notre postulat : dans les réseaux dynamiques, les noeuds nomades introduisent des raccourcis et donc contribuent à l'émergence du phénomène de petit-monde

# Émergence de structure petit-monde

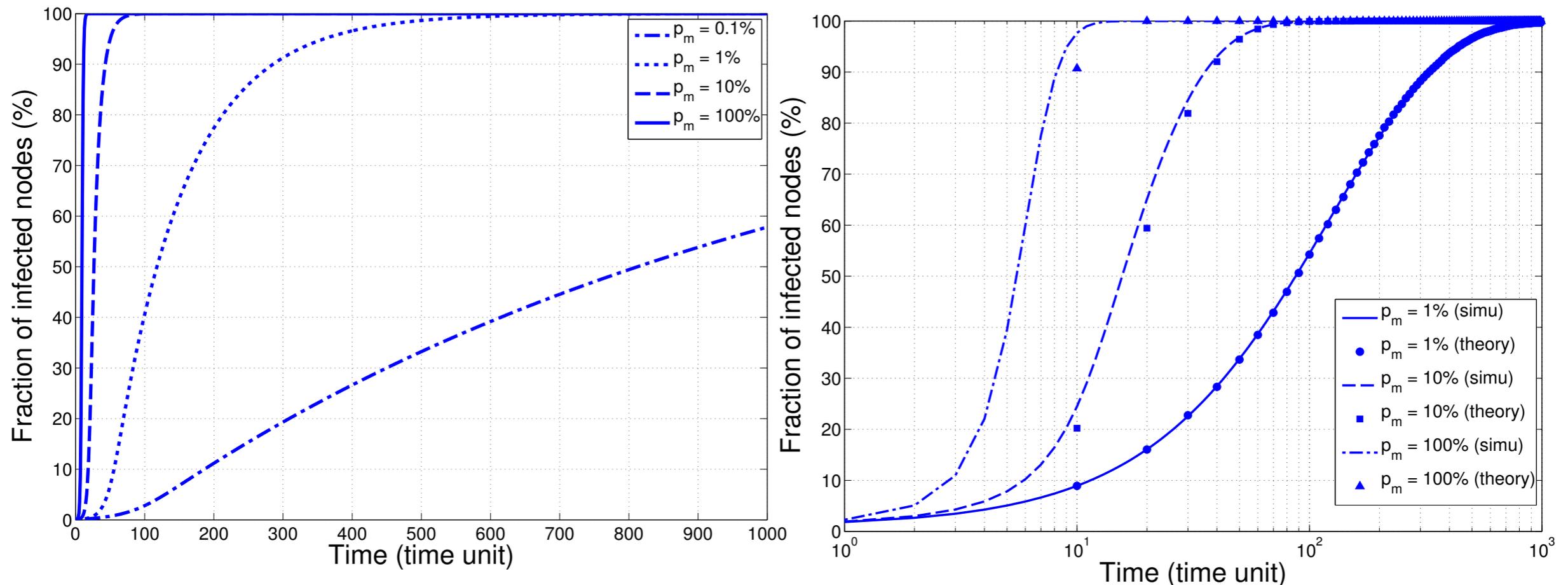
- Modéliser le phénomène sous STEPS
  - 2 types de noeuds
    - **sédentaires** : restent dans leurs zones de prédilection
    - **nomades** : se déplacent entre zones
  - Recablage = variation du ratio des noeuds nomades entre 0 et 100%



Condition suffisante : La structure petit-monde émerge dès que l'on a 10% de noeuds nomades

# Diffusion dans les petit-mondes dynamiques

- Modèle épidémique SI
- Approche systèmes dynamiques : exprimer la dynamique de la progression épidémique par une équation différentielle



La structure petit-monde augmente significativement la vitesse de propagation de l'épidémie

# Synthèse

- Modèle pour mettre en évidence une condition suffisante pour l'émergence du phénomène petit-monde dans les réseaux dynamiques
- Recablage = introduction de noeuds nomades
- Les noeuds nomades jouent le rôle de ponts en réduisant significativement la longueur caractéristique, et donc contribuent à l'émergence du phénomène petit-monde dans les réseaux dynamiques
- 10% de noeuds nomades constituent une condition suffisante pour l'émergence du phénomène de petit monde
- La structure petit-monde améliore significativement la diffusion de l'information dans les réseaux dynamiques

# Publications

- **Understanding and Modeling the Small-world Phenomenon in Dynamic Networks**  
*Anh-Dung Nguyen, Patrick Senac, Michel Diaz*  
ACM MSWIM 2012
- **Behavioral and Structural Analysis of Mobile Cloud Opportunistic Networks**  
*Anh-Dung Nguyen, Patrick Senac, Michel Diaz*  
Opportunistic Mobile Social Networks, CRC Press, 2014
- **Modeling Opportunistic Networks - from Mobility to Structural and Behavioral Analysis**  
*Anh-Dung Nguyen, Patrick Senac, Michel Diaz*  
Elsevier Ad Hoc Networks, 2014 (en soumission)

# Plan

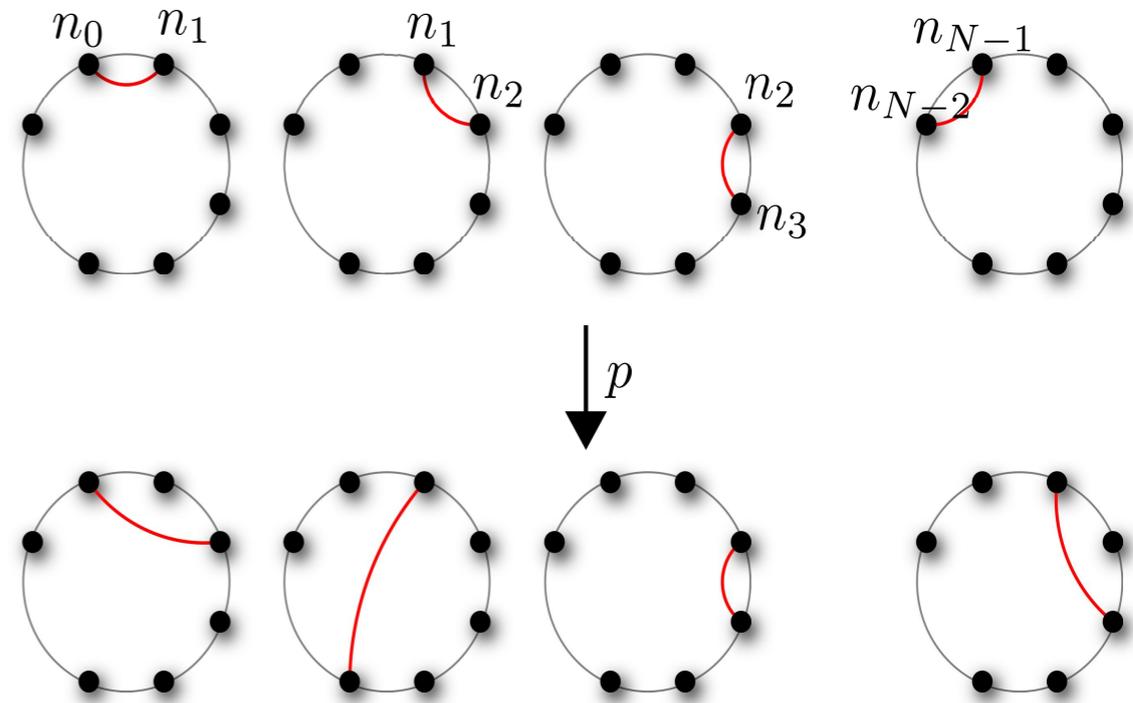
- Contexte
- Modélisation des réseaux dynamiques
- Structure petit-monde
- **Impacts du désordre**

# Structure et ordre

- Les schémas de contacts humains s'opèrent selon un certain degré de **périodicité** et de **régularité**
- Cet ordre a-t-il un impact sur les performances de routage ?
- Peut-t-on tirer parti de cet ordre pour router efficacement dans un réseau dynamique ?

# Modèle\*

- Schéma de contact régulier :  
 $n_1-n_2, n_2-n_3, n_3-n_4, \dots$
- Désordre = probabilité de recablage  $p$
- Processus de recablage :
  - $p = 0 \leftrightarrow$  réseau régulier
  - $p = 1 \leftrightarrow$  réseau aléatoire
  - varier  $p$  de 0 à 1  $\leftrightarrow$  injecter le désordre dans le réseau



\*On the Impact of Disorder on Dynamic Network Navigation  
Anh-Dung Nguyen, Patrick Senac, Michel Diaz  
IEEE INFOCOM 2013, Student Workshop

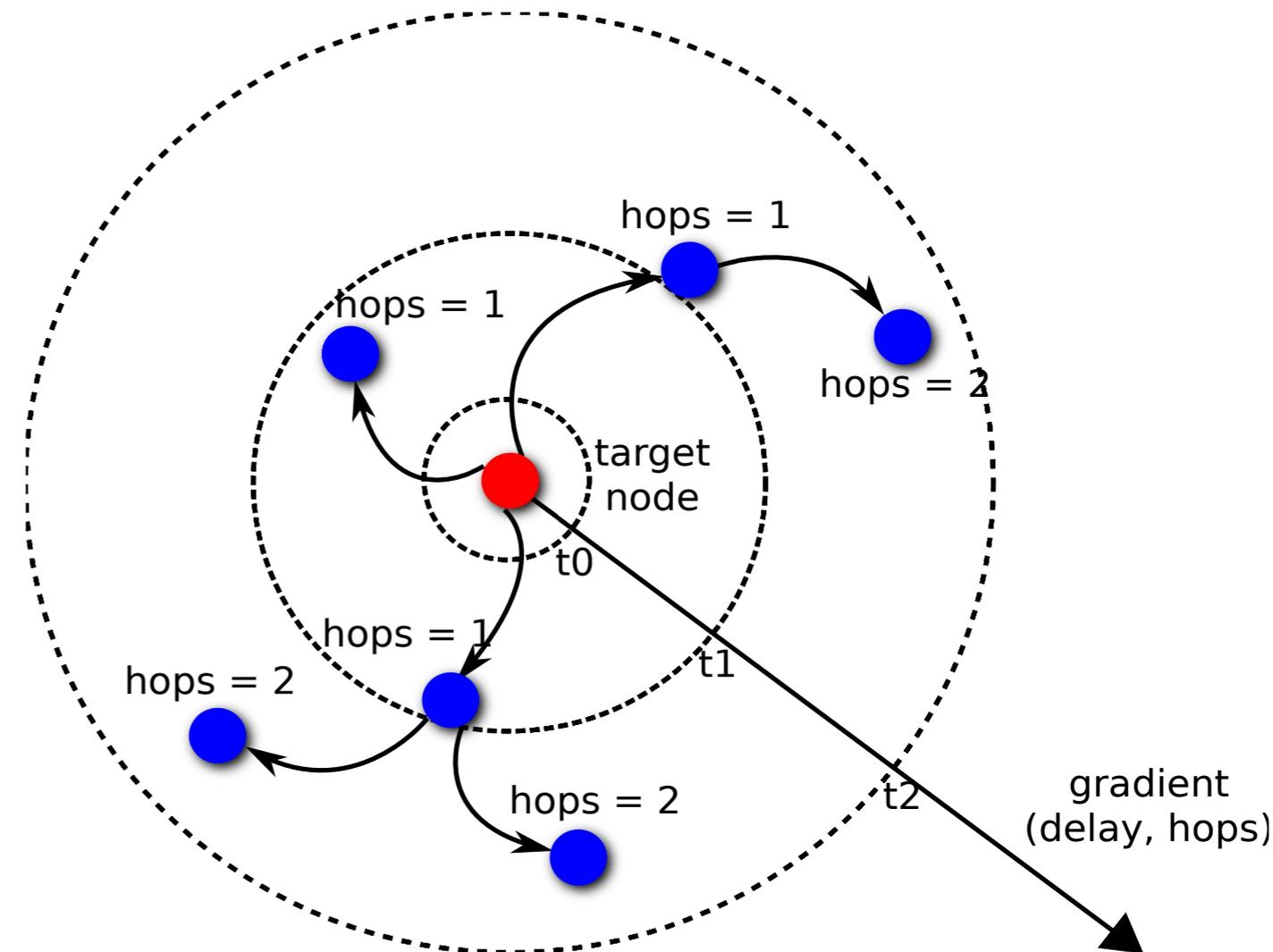
# Mesure de désordre

- Algorithme pour estimer le niveau de désordre
- Niveau de désordre observé : de 13% à 40%

| <b>Dataset</b> | <b>Size (nodes/days)</b> | <b>Environment</b> | $p_{\text{real}}$ (%) |
|----------------|--------------------------|--------------------|-----------------------|
| Cambridge05    | 12/6                     | laboratory         | 12.97                 |
| Intel          | 9/6                      | laboratory         | 16.78                 |
| Cambridge06    | 36/54                    | city               | 22.17                 |
| Infocom06      | 98/4                     | conference         | 27.77                 |
| MIT            | 104/246                  | campus,city        | 29.96                 |
| Infocom05      | 41/4                     | conference         | 34.96                 |
| Milan          | 49/19                    | university         | 39.31                 |

# Ordre et structure temporelle

- Structure temporelle
  - Distance spatio-temporelle entre noeuds  $f(\text{délais, sauts})$
  - Chaque noeud maintient pour chaque destination connue 2 scalaires explicitant la distance spatio-temporelle vers cette destination
    - Relation d'ordre entre noeuds
    - Champ de gradient vers un noeud



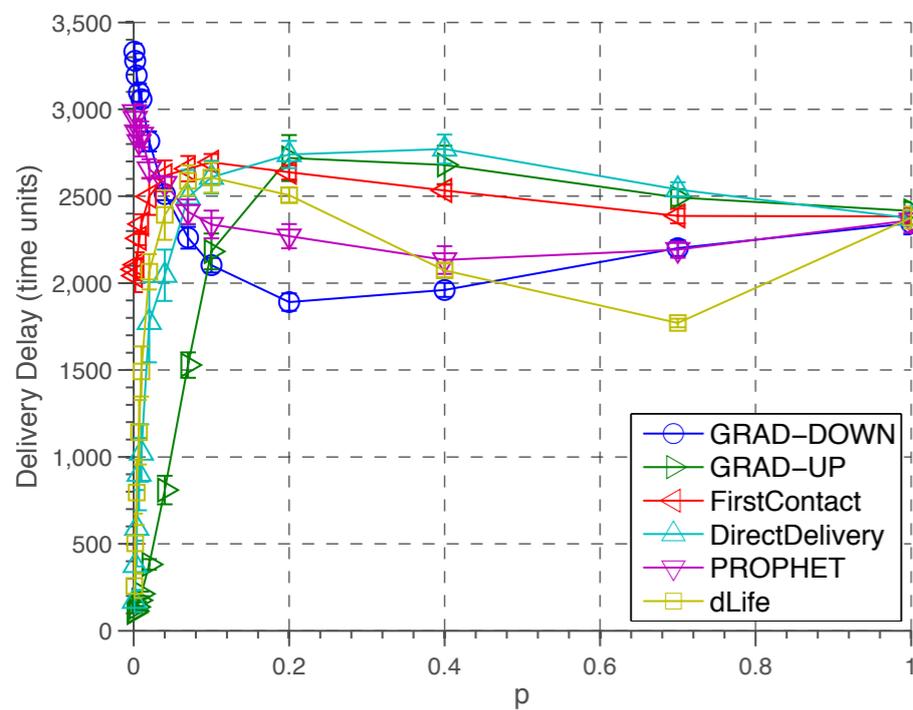
# Principes de routage

- Routage dans les réseaux opportunistes = trouver un chemin temporel d'une source à une destination qui minimise une fonction de coût
- Compromis performance/ressources
- Solution pire cas : seule 1 copie de message
- Notre algorithme \* : les messages suivent le champ de gradient spatio-temporel selon un principe de descente (GRAD-DOWN) ou de montée (GRAD-UP) de gradient

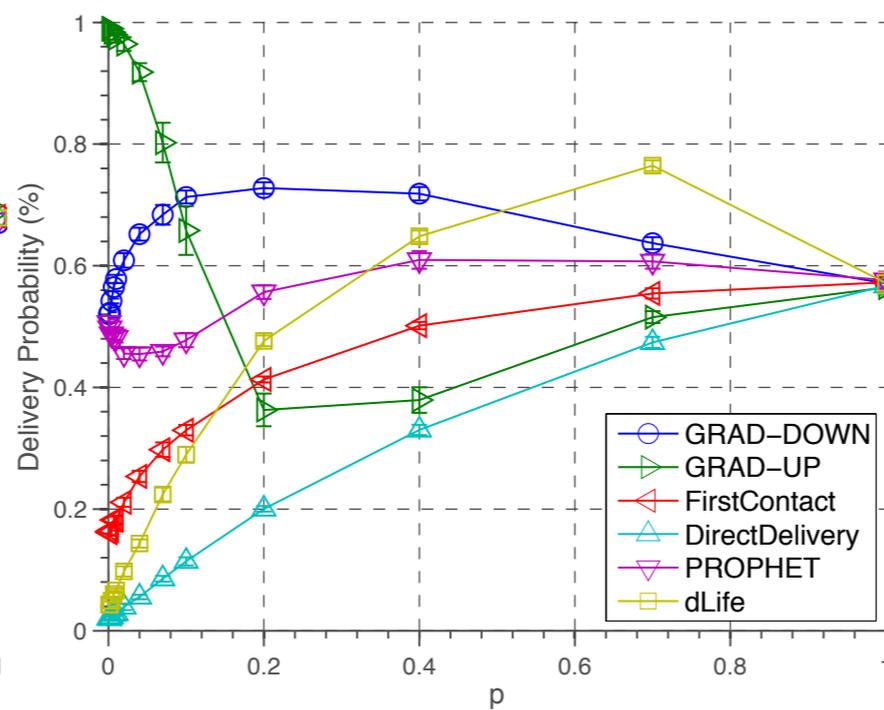
*\*How Disorder Impacts Routing in Human-Centric Disruption Tolerant Networks  
Anh-Dung Nguyen, Patrick Senac, Michel Diaz  
ACM SIGCOMM 2013 Workshop on Future Human-Centric Multimedia Networking*

# Résultats

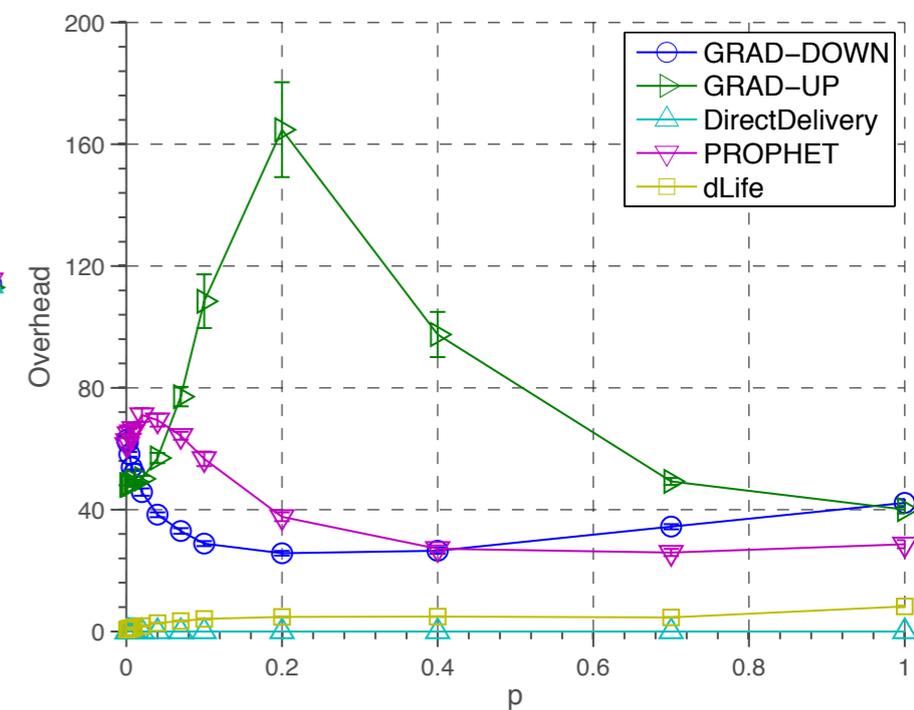
- GRAD-UP et GRAD-DOWN délivrent de meilleures performances que les solutions classiques (PROPHET, dLIFE, FirstContact, DirectDelivery)
- GRAD-DOWN atteint sa performance optimale pour un niveau de désordre de 20%
- Ce niveau de désordre est compatible avec celui observé dans les traces réelles



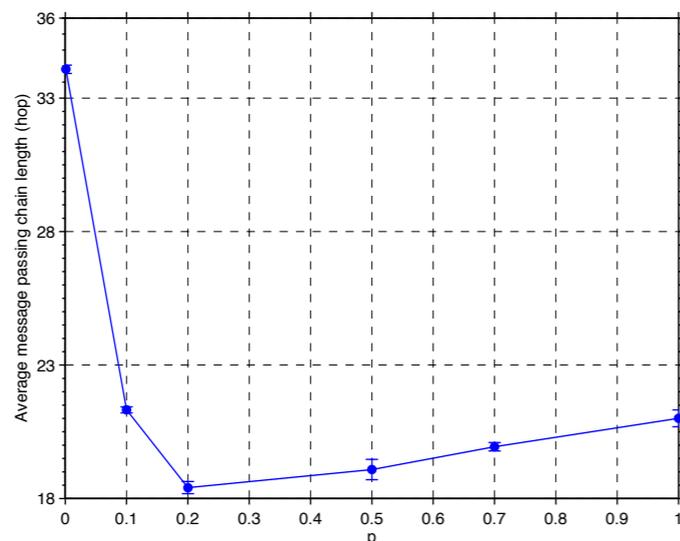
Délais



Taux de délivrance



Overhead



Le désordre introduit des raccourcis !

# Synthèse

- Maintenir les distances spatio-temporelles entre noeuds est simple et efficace
- Le routage peut être basé sur cet indice pour suivre les pentes du champs de gradient vers le noeud destinataire
- Ces algorithmes utilisant ce gradient sont plus efficaces que les approches traditionnelles
- Quand le niveau du désordre est de 20%, la structure résultante permet d'exploiter ces algorithmes efficacement
- Le niveau de désordre des traces réelles est conforme avec celui pour lequel ce type d'algorithme est efficace

# Publications

- **How Disorder Impacts Routing in Human-Centric Disruption Tolerant Networks**  
*Anh-Dung Nguyen, Patrick Senac, Michel Diaz*  
ACM SIGCOMM 2013 Workshop on Future Human-Centric Multimedia Networking
- **On the Impact of Disorder on Dynamic Network Navigation**  
*Anh-Dung Nguyen, Patrick Senac, Michel Diaz*  
IEEE INFOCOM 2013, Student Workshop
- **On the Impact of Disorder on Dynamic Network Navigation**  
*Anh-Dung Nguyen, Patrick Senac, Michel Diaz*  
NetSci 2013
- **Impact of Entropy on Routing in Delay Tolerant Networks**  
*Anh-Dung Nguyen, Patrick Senac, Michel Diaz*  
Elsevier Ad Hoc Networks, 2014 (en soumission)

# Plan

- Introduction
- Modélisation
- Structure petit-monde
- Impacts du désordre
- **Application au routage centré sur le contenu**

# Réseaux centrés sur le contenu

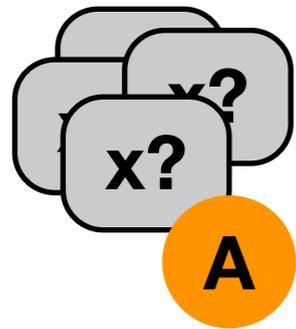
- Trafic d'internet d'aujourd'hui : 90% dissémination des données
- Architecture centré sur les hôtes
  - Internet d'aujourd'hui : Identité = localisation
- “Content-centric” : découpage de la relation Identité/localisation
  - Libérer des utilisateurs des systèmes de gestion et résolution d'adresses
  - Le caching améliore la délivrance des contenus, réduit la congestion, ...
- CCN + DTN = **CCDTN, une solution naturelle pour faire du routage dans les réseaux opportunistes**

# Swarm Intelligence Based Routing

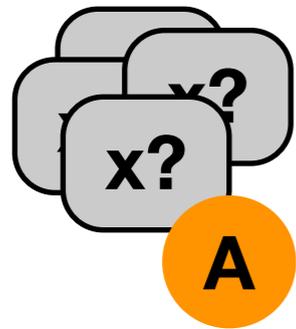
- Paradigme de communication **pub/sub**
  - **Dissémination des intérêts de contenu**
    - emploi de **Binary Spray and Wait**
    - diffusion du triplet [Souscription, Délai, Sauts]
  - **Dissémination des contenus**
    - algorithme **GRAD-DOWN**
- Chaque noeud maintient pour chaque contenu une fonction d'utilité  $f(\text{délai, sauts})$  qui résume la distance spatio-temporelle entre un noeud et un utilisateur du contenu
- Mise à jour des fonctions d'utilité via les contacts opportunistes
- Émergence d'un **champ de gradient entre les fournisseurs et les utilisateurs**

# Dissémination des intérêts

# Dissémination des intérêts

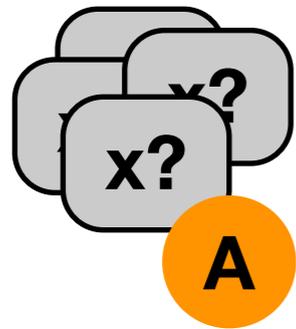


# Dissémination des intérêts



$t_0$

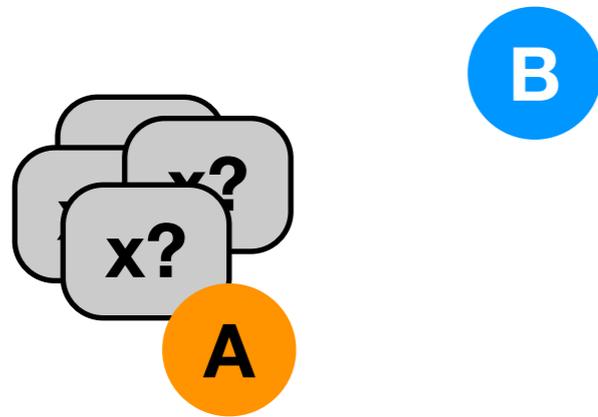
# Dissémination des intérêts



$t_0$

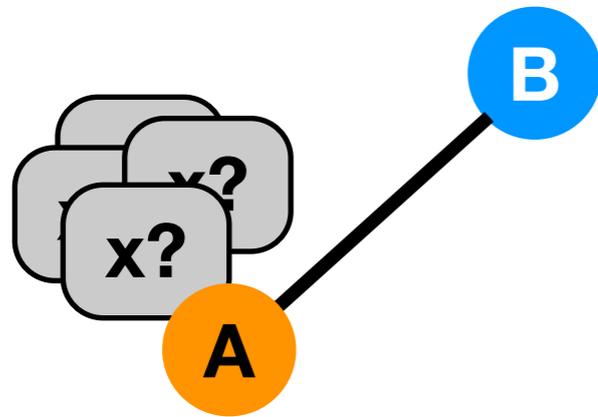
| Noeud | Souscription | Délai | Sauts |
|-------|--------------|-------|-------|
| A     | x?           | -     | -     |

# Dissémination des intérêts



| Noeud | Souscription | Délai | Sauts |
|-------|--------------|-------|-------|
| A     | x?           | -     | -     |

# Dissémination des intérêts

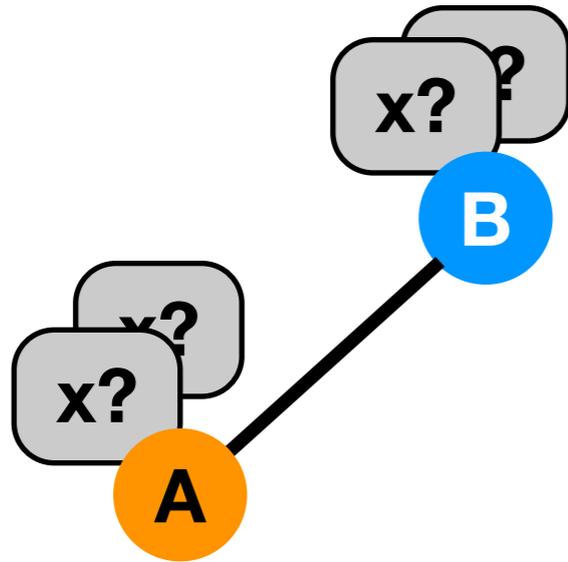


$t_0$

$t_1$

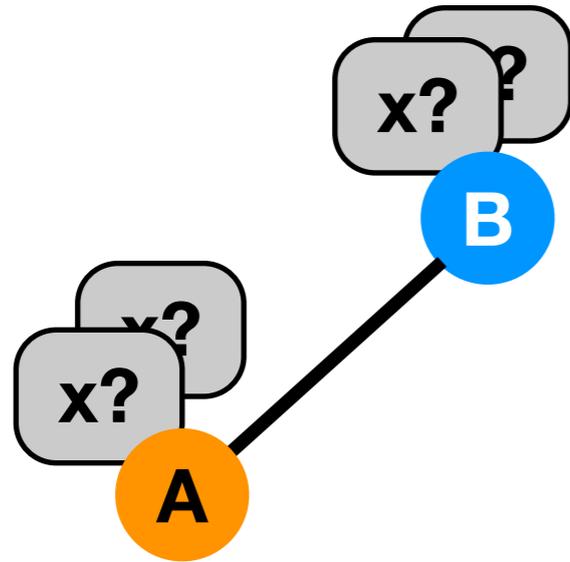
| Noeud | Souscription | Délai | Sauts |
|-------|--------------|-------|-------|
| A     | x?           | -     | -     |

# Dissémination des intérêts



| Noeud | Souscription | Délai | Sauts |
|-------|--------------|-------|-------|
| A     | x?           | -     | -     |

# Dissémination des intérêts

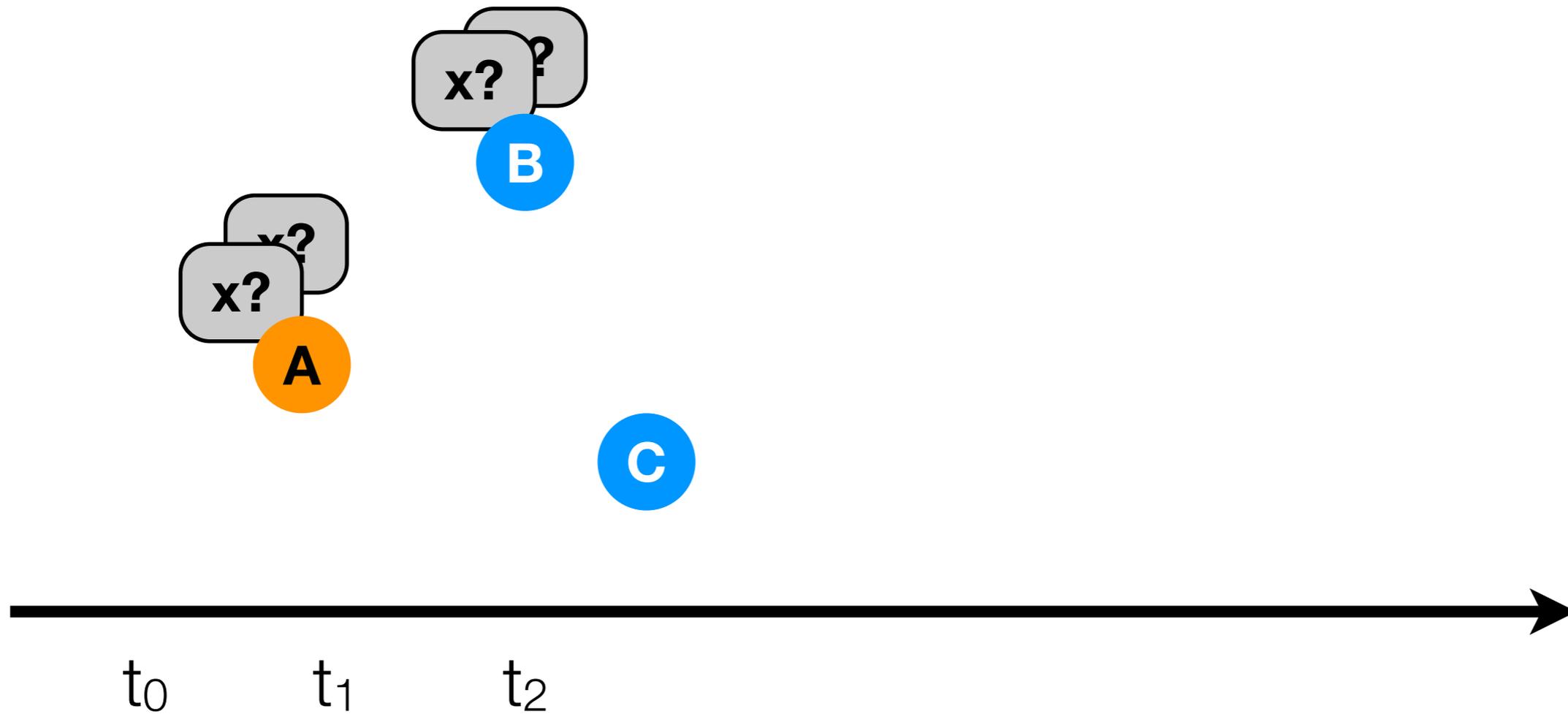


$t_0$

$t_1$

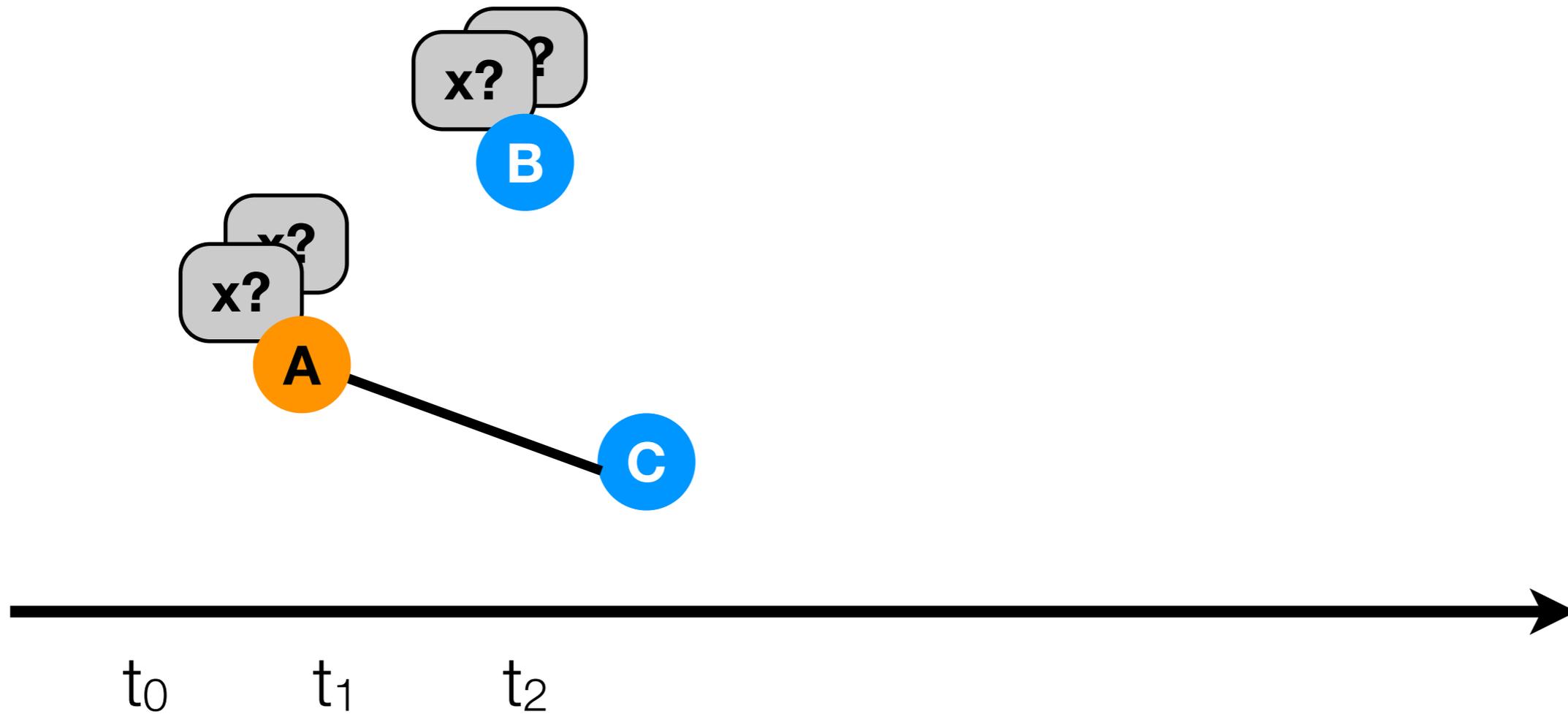
| Noeud | Souscription | Délai | Sauts |
|-------|--------------|-------|-------|
| A     | x?           | -     | -     |
| B     | x?           | 0     | 1     |

# Dissémination des intérêts



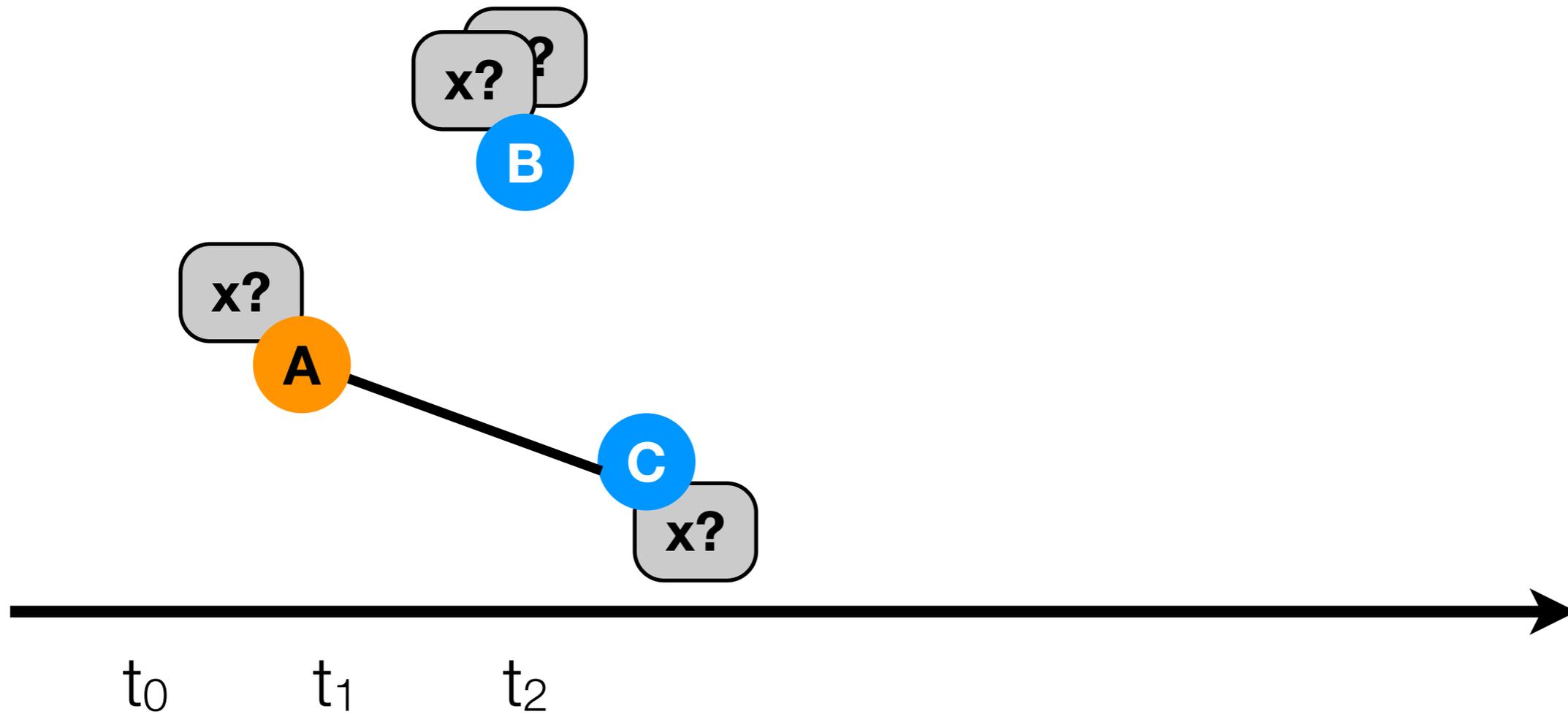
| Noeud | Souscription | Délai       | Sauts |
|-------|--------------|-------------|-------|
| A     | x?           | -           | -     |
| B     | x?           | $t_2 - t_1$ | 1     |

# Dissémination des intérêts



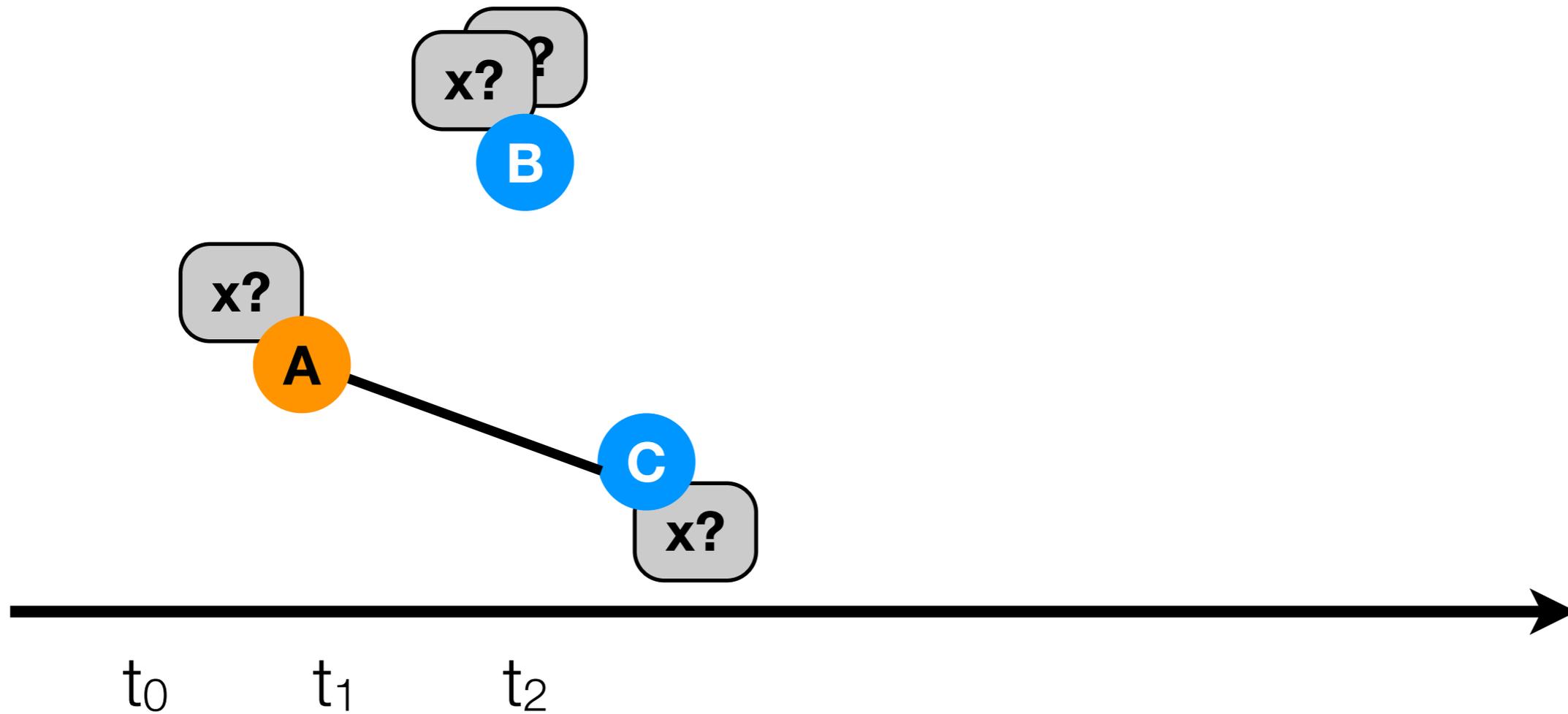
| Noeud | Souscription | Délai       | Sauts |
|-------|--------------|-------------|-------|
| A     | x?           | -           | -     |
| B     | x?           | $t_2 - t_1$ | 1     |

# Dissémination des intérêts



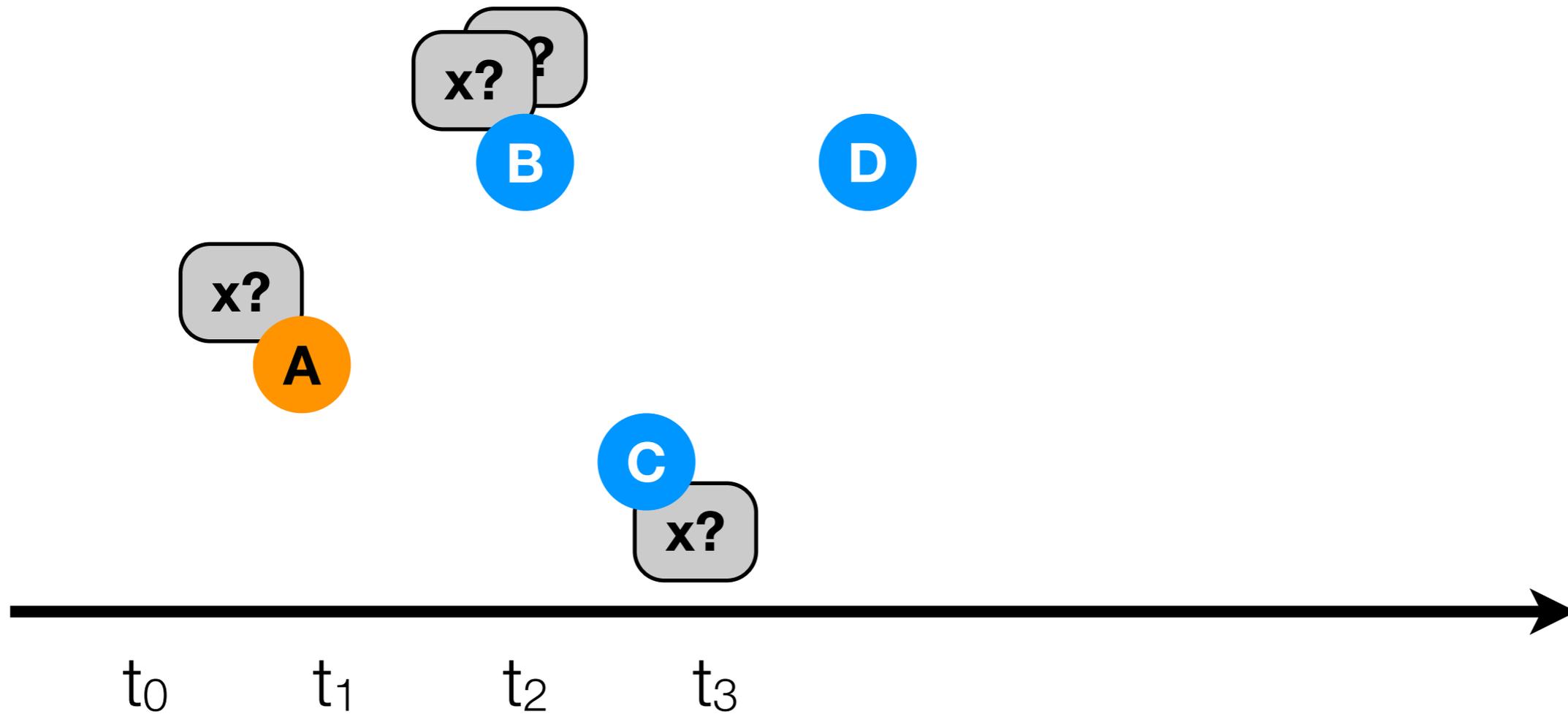
| Noeud | Souscription | Délai       | Sauts |
|-------|--------------|-------------|-------|
| A     | x?           | -           | -     |
| B     | x?           | $t_2 - t_1$ | 1     |

# Dissémination des intérêts



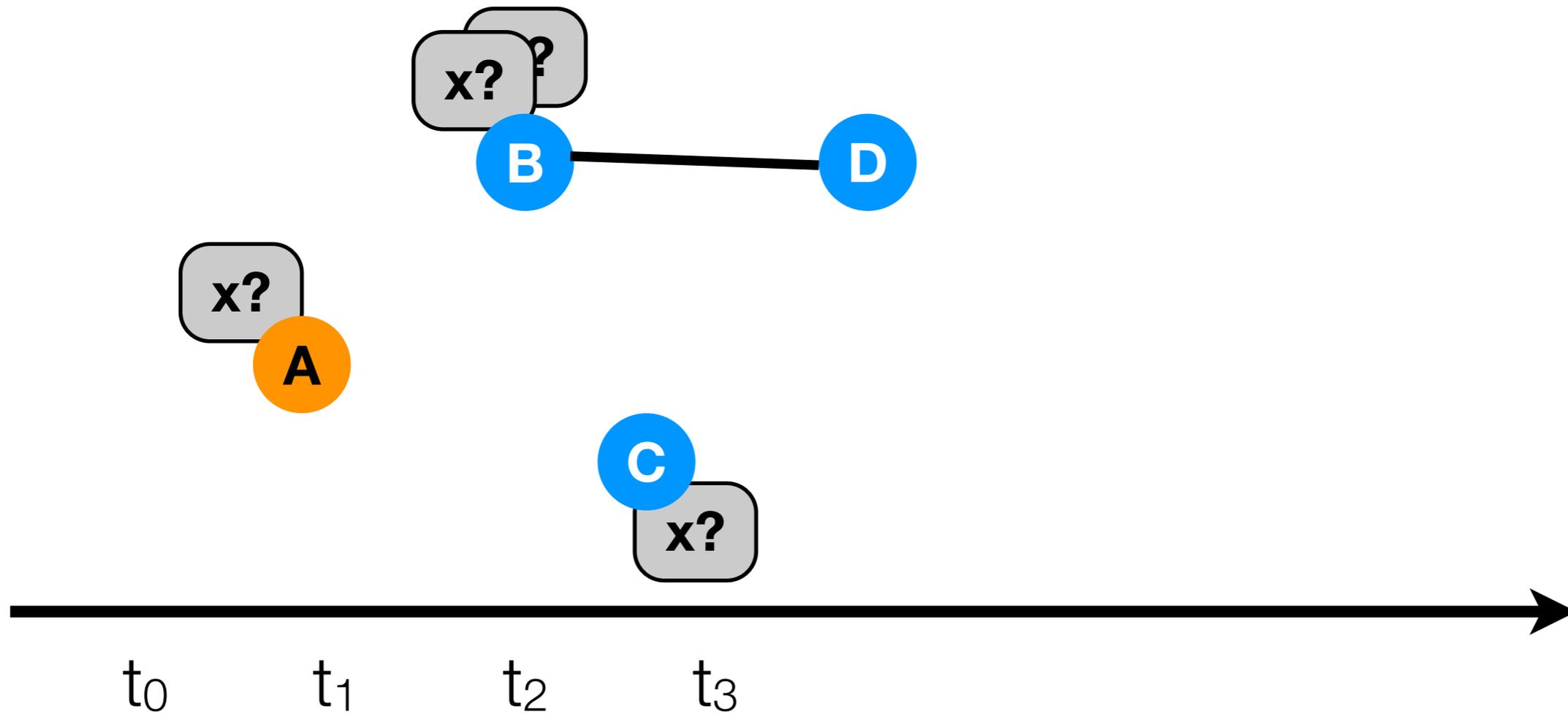
| Noeud | Souscription | Délai       | Sauts |
|-------|--------------|-------------|-------|
| A     | x?           | -           | -     |
| B     | x?           | $t_2 - t_1$ | 1     |
| C     | x?           | 0           | 1     |

# Dissémination des intérêts



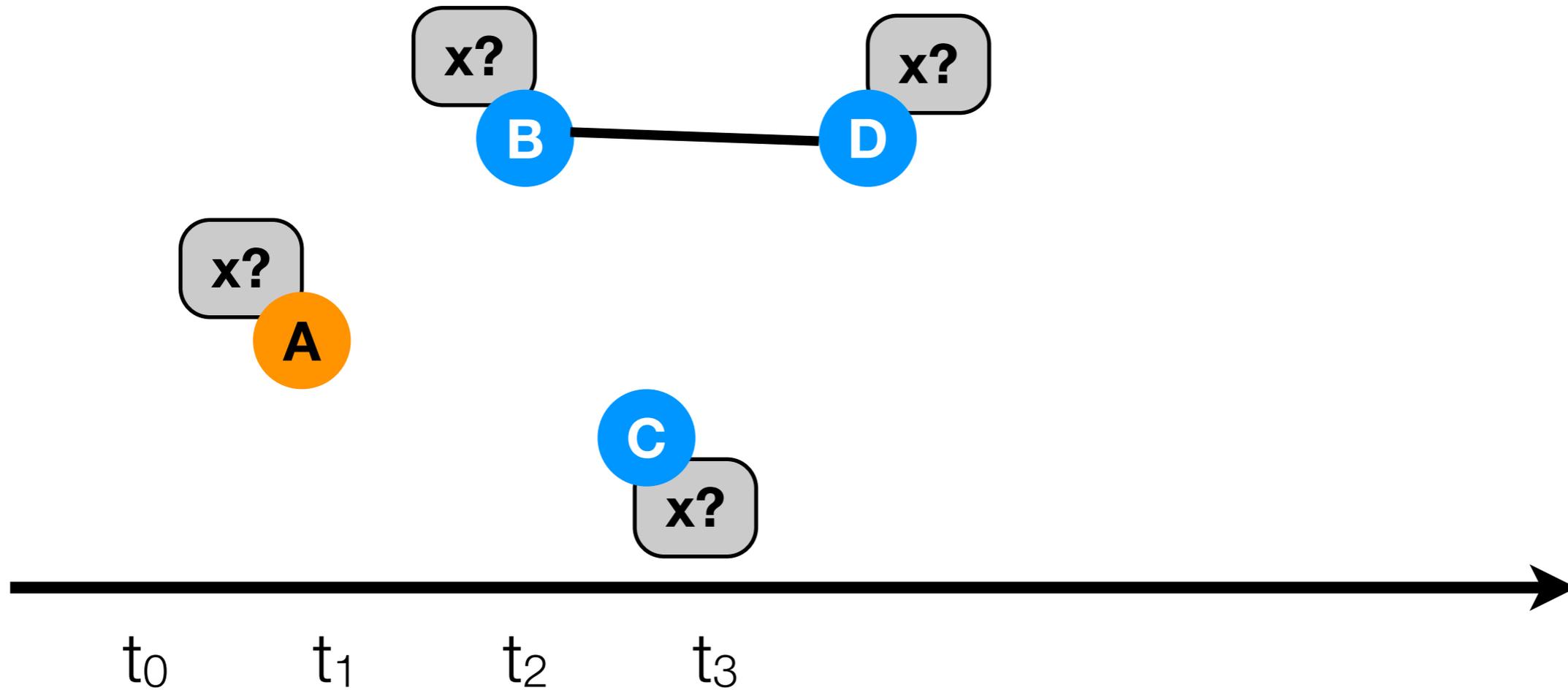
| Noeud | Souscription | Délai     | Sauts |
|-------|--------------|-----------|-------|
| A     | x?           | -         | -     |
| B     | x?           | $t_3-t_1$ | 1     |
| C     | x?           | $t_3-t_2$ | 1     |

# Dissémination des intérêts



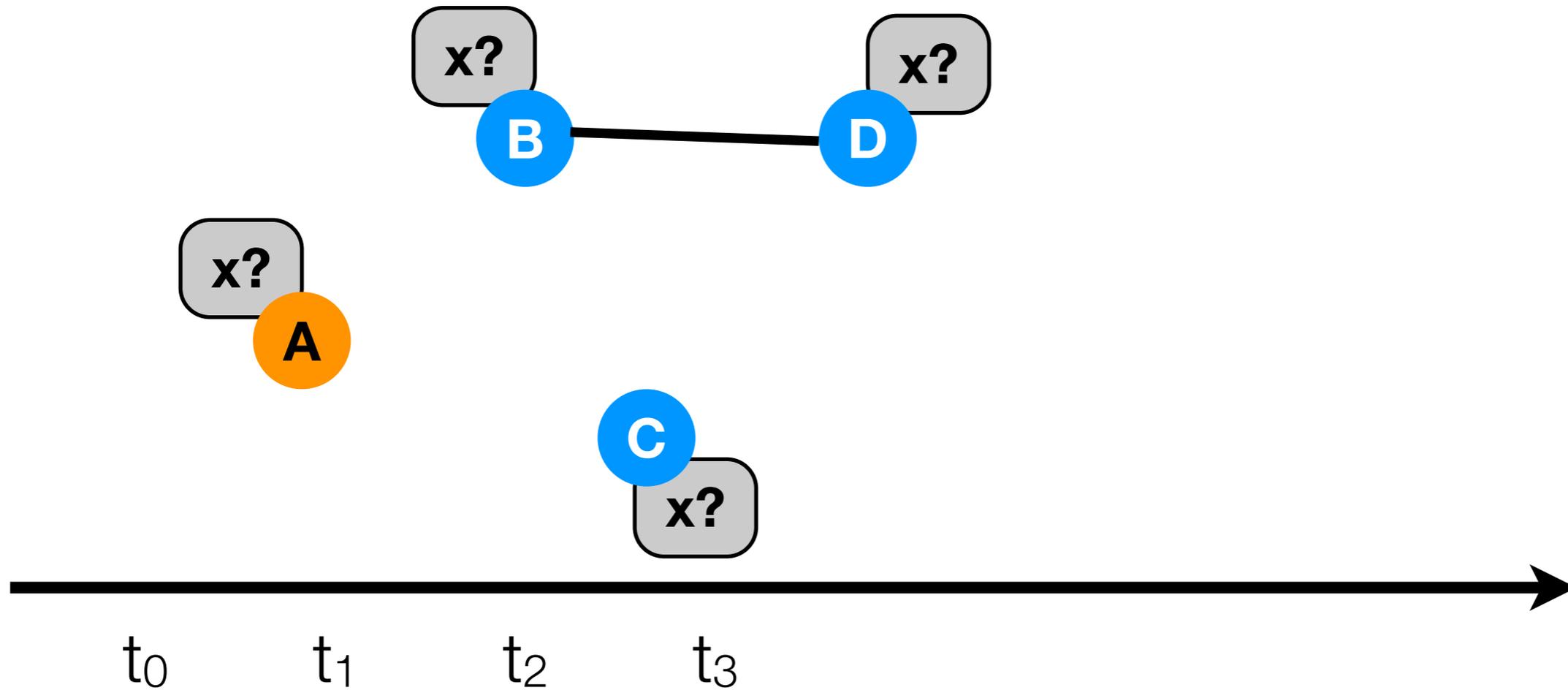
| Noeud | Souscription | Délai       | Sauts |
|-------|--------------|-------------|-------|
| A     | x?           | -           | -     |
| B     | x?           | $t_3 - t_1$ | 1     |
| C     | x?           | $t_3 - t_2$ | 1     |

# Dissémination des intérêts



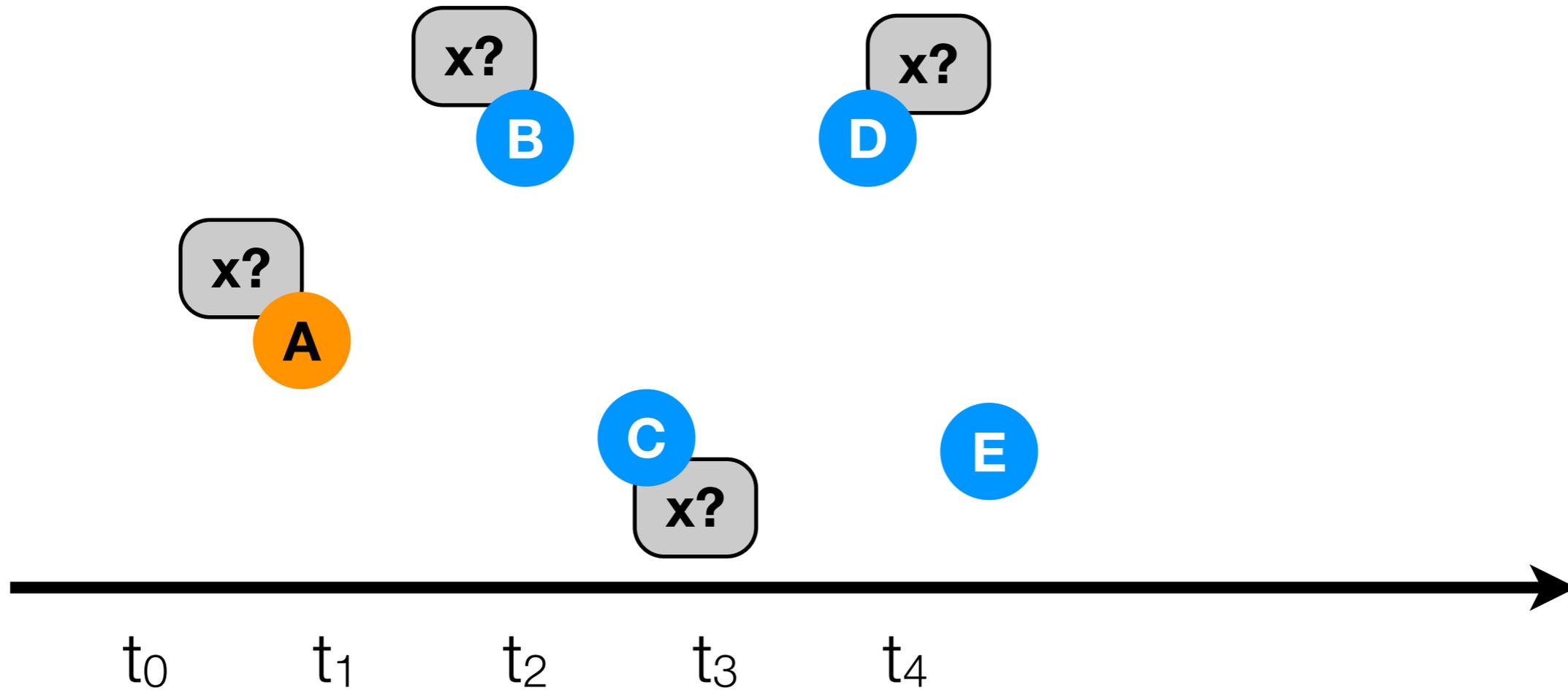
| Noeud    | Souscription | Délai       | Sauts |
|----------|--------------|-------------|-------|
| <b>A</b> | x?           | -           | -     |
| <b>B</b> | x?           | $t_3 - t_1$ | 1     |
| <b>C</b> | x?           | $t_3 - t_2$ | 1     |

# Dissémination des intérêts



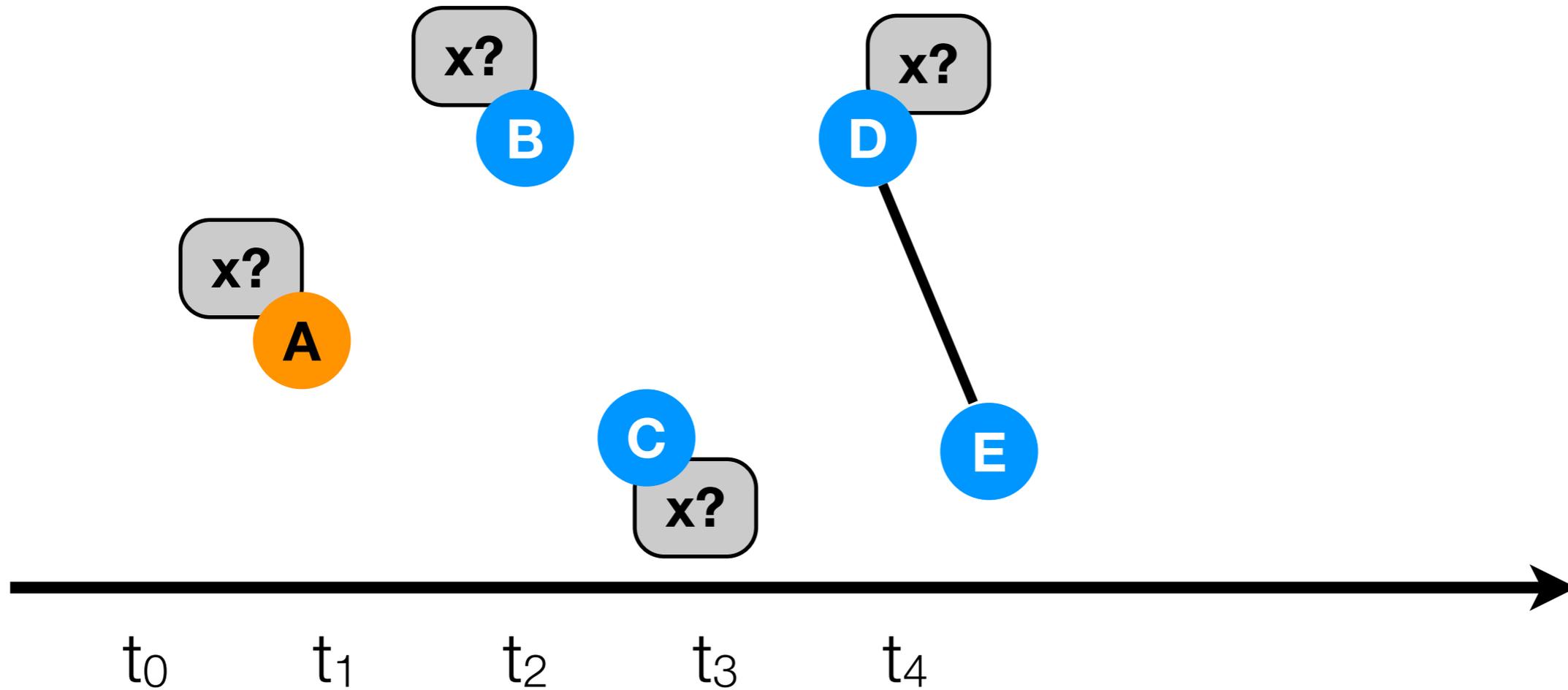
| Noeud    | Souscription | Délai       | Sauts |
|----------|--------------|-------------|-------|
| <b>A</b> | x?           | -           | -     |
| <b>B</b> | x?           | $t_3 - t_1$ | 1     |
| <b>C</b> | x?           | $t_3 - t_2$ | 1     |
| <b>D</b> | x?           | $t_3$       | 2     |

# Dissémination des intérêts



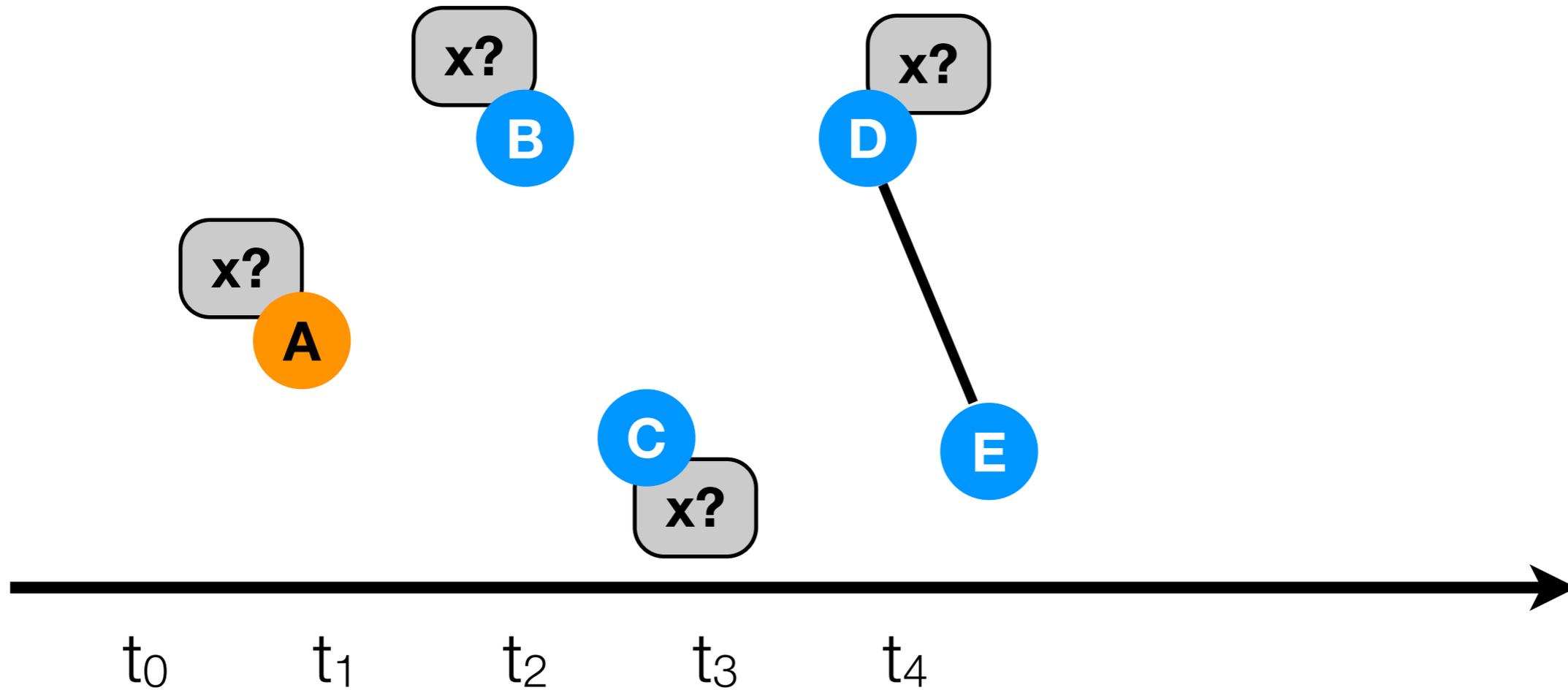
| Noeud | Souscription | Délai       | Sauts |
|-------|--------------|-------------|-------|
| A     | x?           | -           | -     |
| B     | x?           | $t_4 - t_1$ | 1     |
| C     | x?           | $t_4 - t_2$ | 1     |
| D     | x?           | $t_4 - t_1$ | 2     |

# Dissémination des intérêts



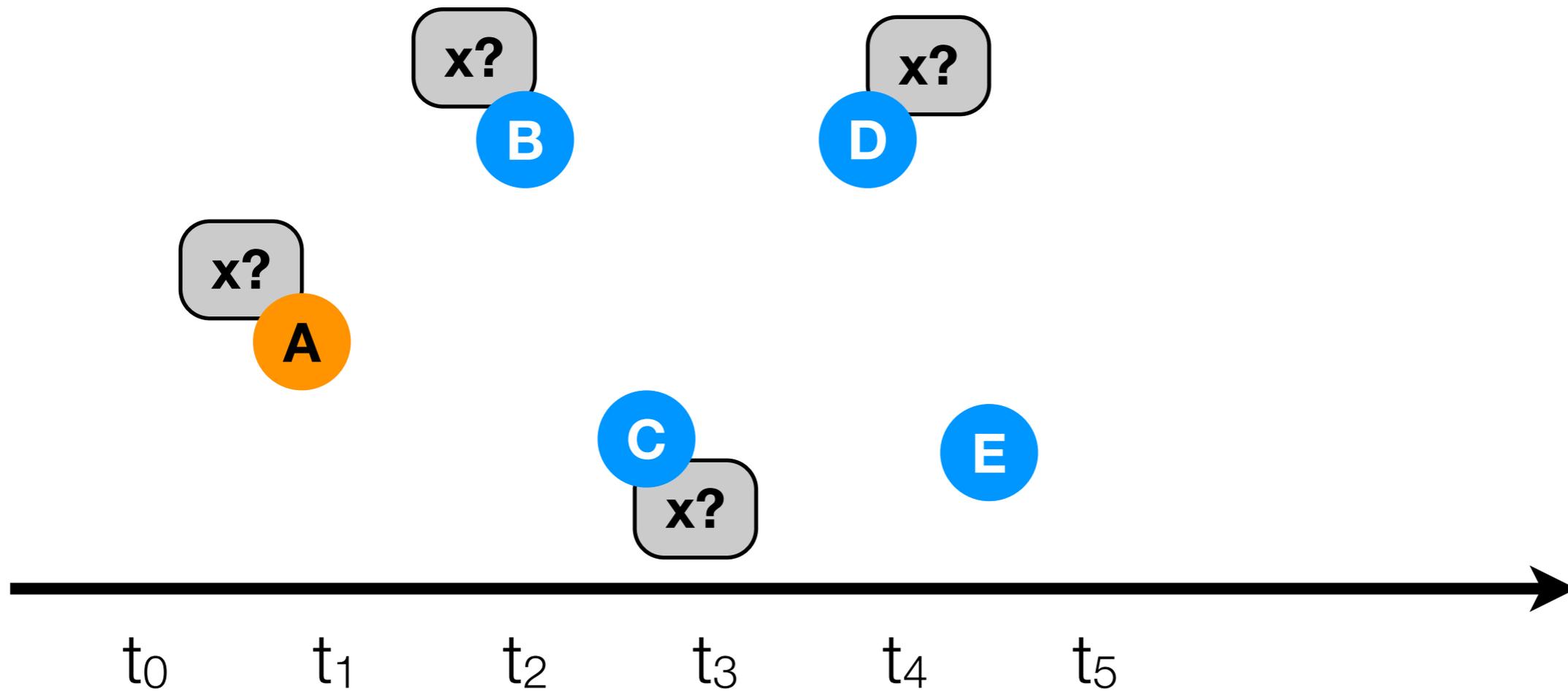
| Noeud | Souscription | Délai       | Sauts |
|-------|--------------|-------------|-------|
| A     | x?           | -           | -     |
| B     | x?           | $t_4 - t_1$ | 1     |
| C     | x?           | $t_4 - t_2$ | 1     |
| D     | x?           | $t_4 - t_1$ | 2     |

# Dissémination des intérêts



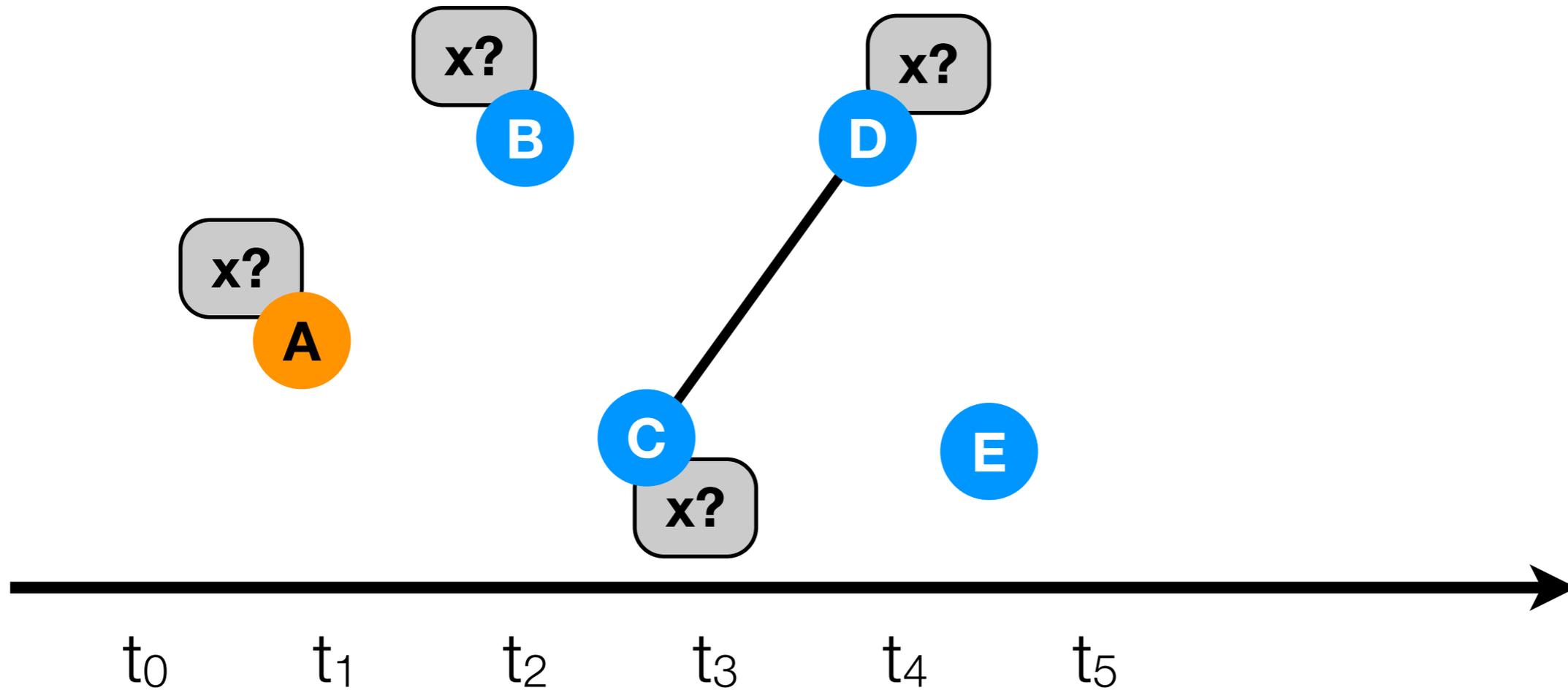
| Noeud | Souscription | Délai       | Sauts |
|-------|--------------|-------------|-------|
| A     | x?           | -           | -     |
| B     | x?           | $t_4 - t_1$ | 1     |
| C     | x?           | $t_4 - t_2$ | 1     |
| D     | x?           | $t_4 - t_1$ | 2     |
| E     | 37           |             |       |

# Dissémination des intérêts



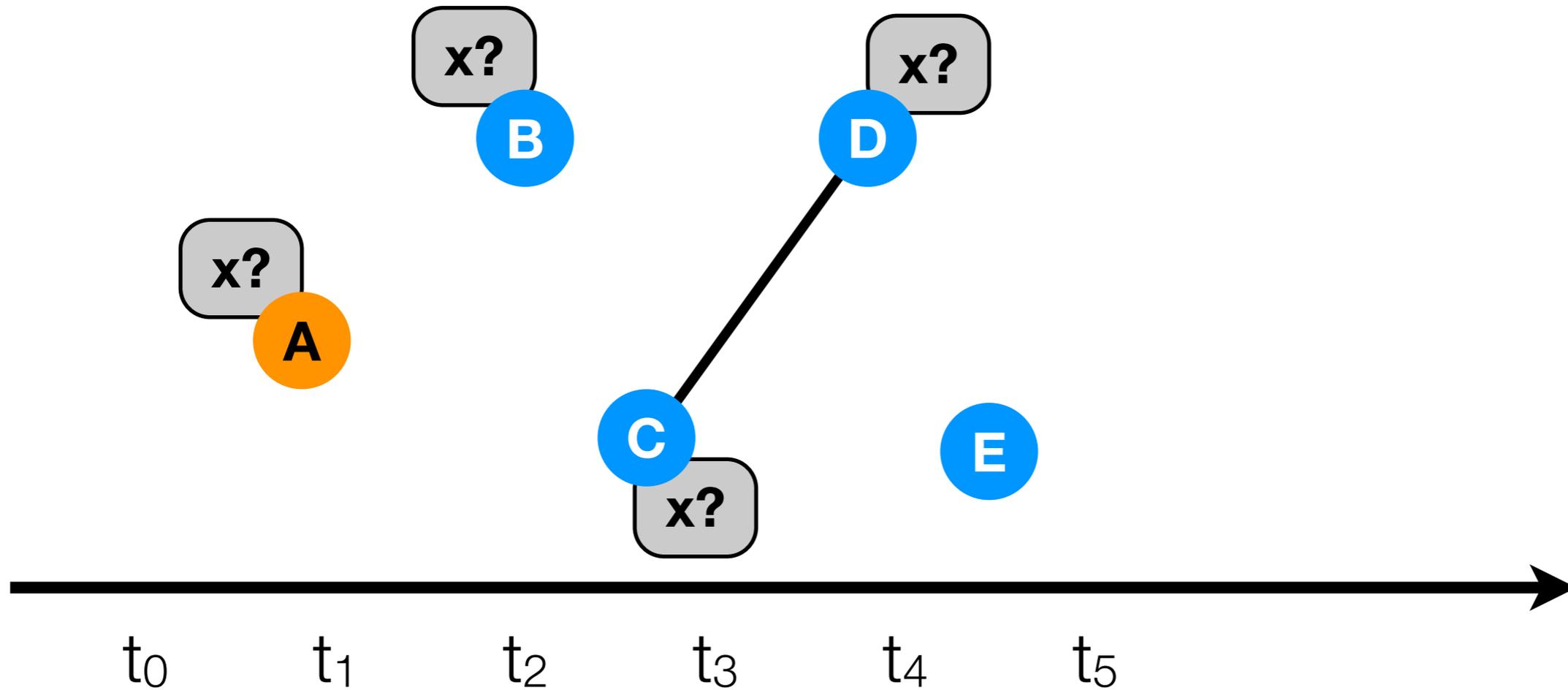
| Noeud | Souscription | Délai       | Sauts |
|-------|--------------|-------------|-------|
| A     | x?           | -           | -     |
| B     | x?           | $t_5 - t_1$ | 1     |
| C     | x?           | $t_5 - t_2$ | 1     |
| D     | x?           | $t_5 - t_1$ | 2     |
| E     |              | 37          |       |

# Dissémination des intérêts



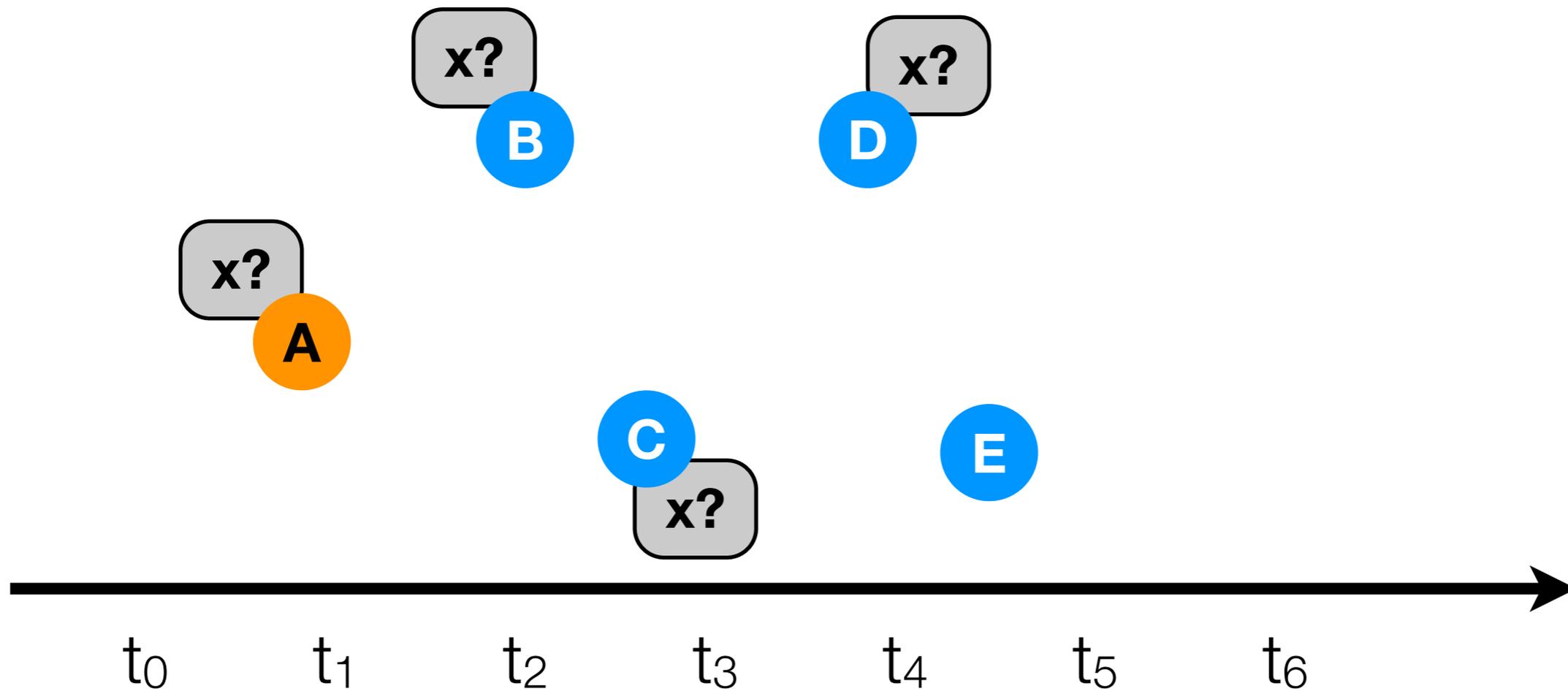
| Noeud | Souscription | Délai       | Sauts |
|-------|--------------|-------------|-------|
| A     | x?           | -           | -     |
| B     | x?           | $t_5 - t_1$ | 1     |
| C     | x?           | $t_5 - t_2$ | 1     |
| D     | x?           | $t_5 - t_1$ | 2     |
| E     | 37           |             |       |

# Dissémination des intérêts



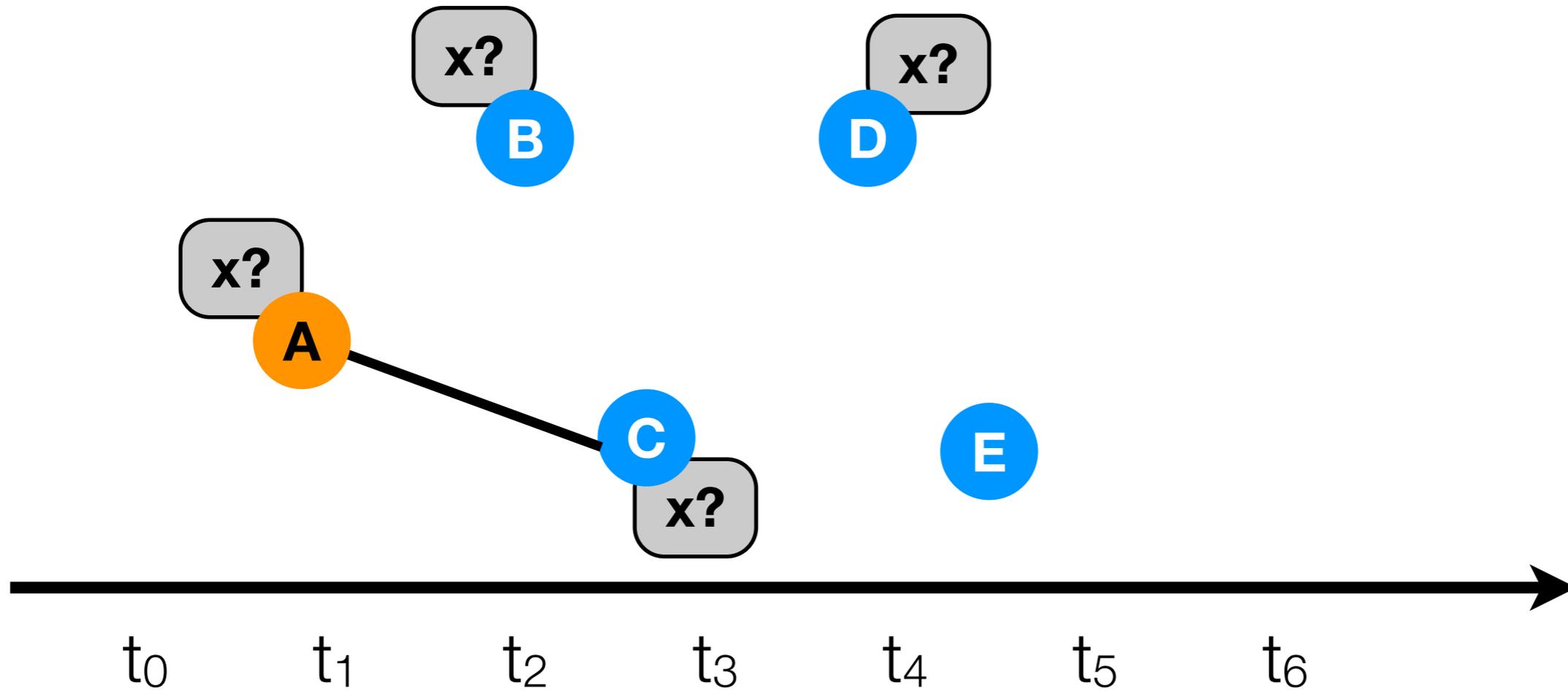
| Noeud | Souscription | Délai       | Sauts |
|-------|--------------|-------------|-------|
| A     | x?           | -           | -     |
| B     | x?           | $t_5 - t_1$ | 1     |
| C     | x?           | $t_5 - t_2$ | 1     |
| D     | x?           | $t_5 - t_2$ | 2     |
| E     | 37           |             |       |

# Dissémination des intérêts



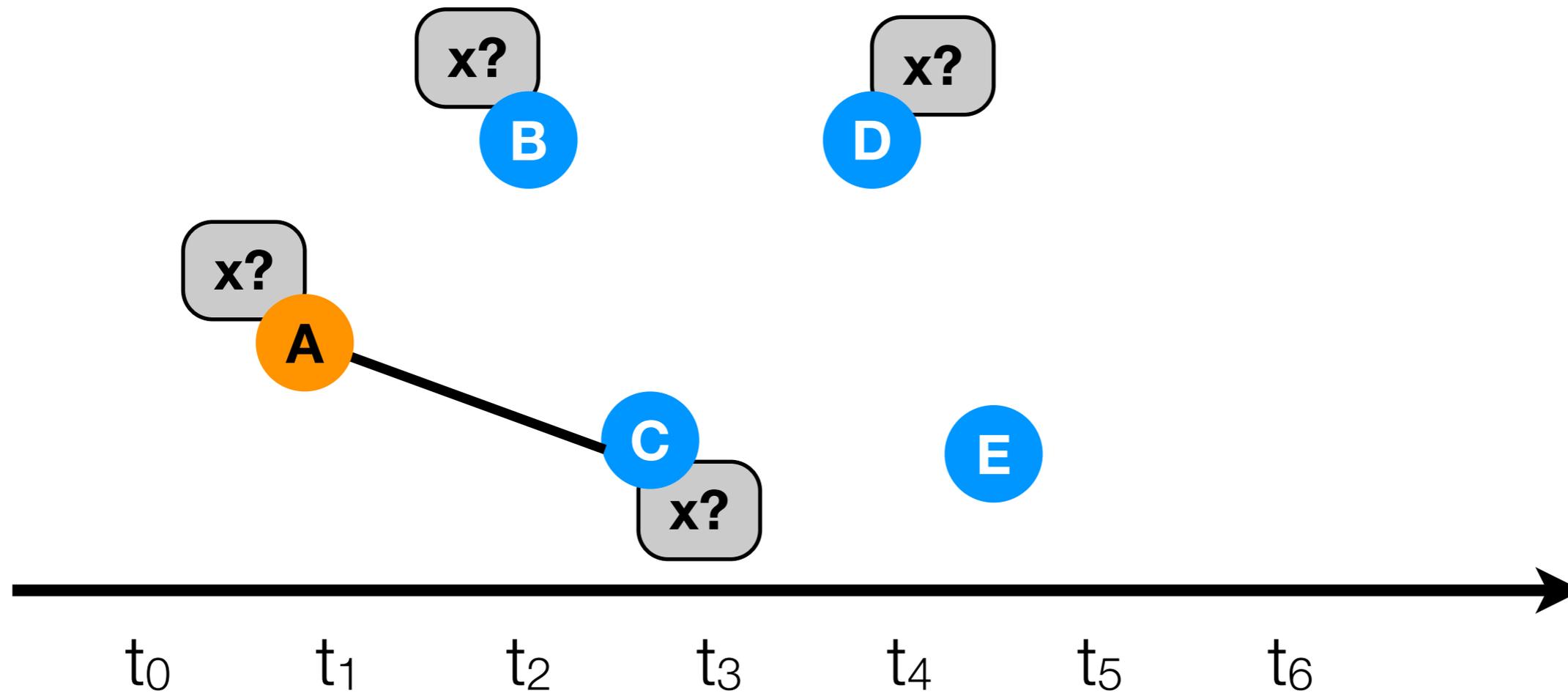
| Noeud | Souscription | Délai       | Sauts |
|-------|--------------|-------------|-------|
| A     | x?           | -           | -     |
| B     | x?           | $t_6 - t_1$ | 1     |
| C     | x?           | $t_6 - t_2$ | 1     |
| D     | x?           | $t_6 - t_2$ | 2     |
| E     |              | 37          |       |

# Dissémination des intérêts



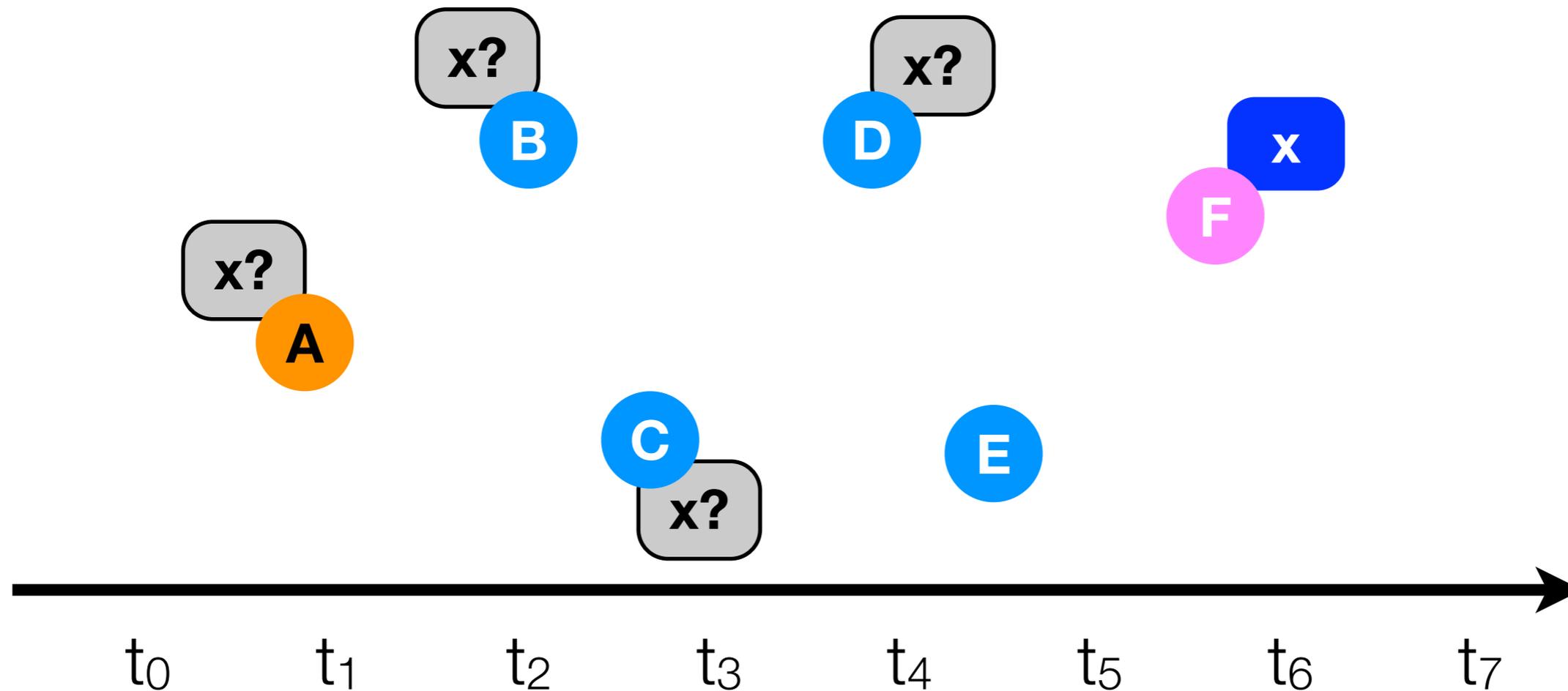
| Noeud | Souscription | Délai       | Sauts |
|-------|--------------|-------------|-------|
| A     | x?           | -           | -     |
| B     | x?           | $t_6 - t_1$ | 1     |
| C     | x?           | $t_6 - t_2$ | 1     |
| D     | x?           | $t_6 - t_2$ | 2     |
| E     |              | 37          |       |

# Dissémination des intérêts



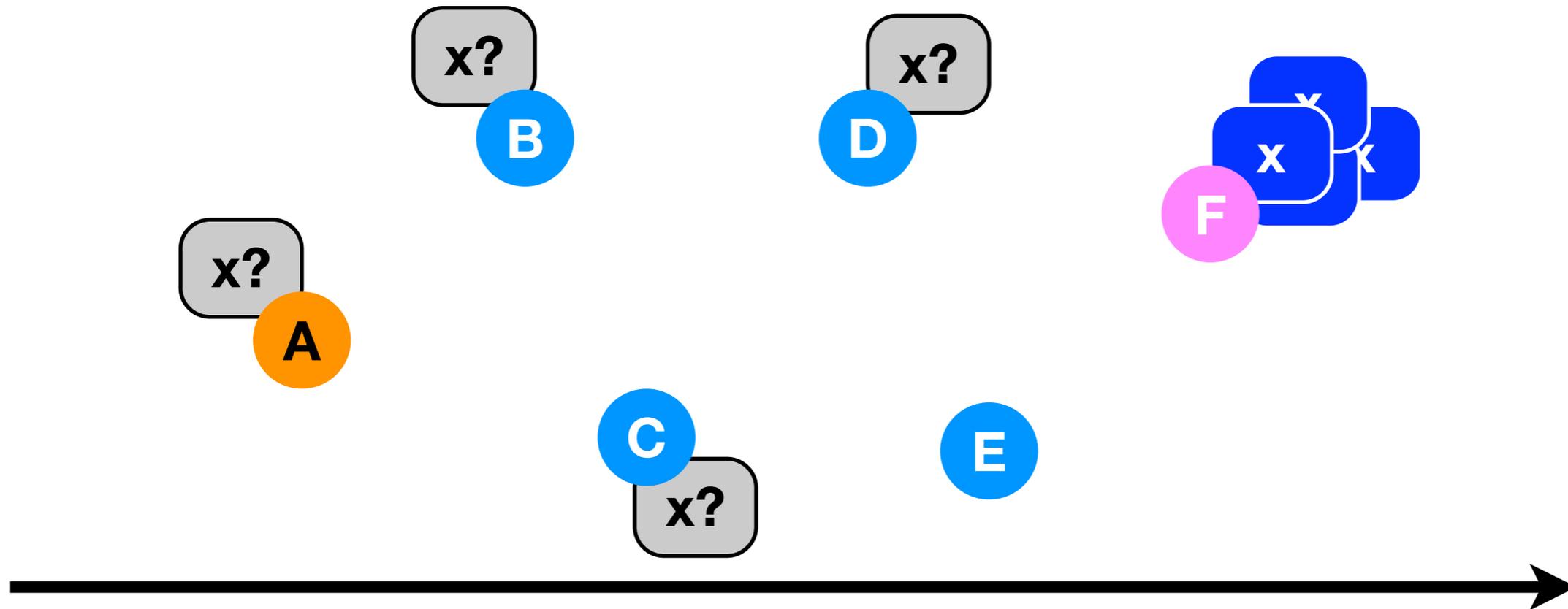
| Noeud | Souscription | Délai       | Sauts |
|-------|--------------|-------------|-------|
| A     | x?           | -           | -     |
| B     | x?           | $t_6 - t_1$ | 1     |
| C     | x?           | 0           | 1     |
| D     | x?           | $t_6 - t_2$ | 2     |
| E     |              | 37          |       |

# Dissémination des intérêts



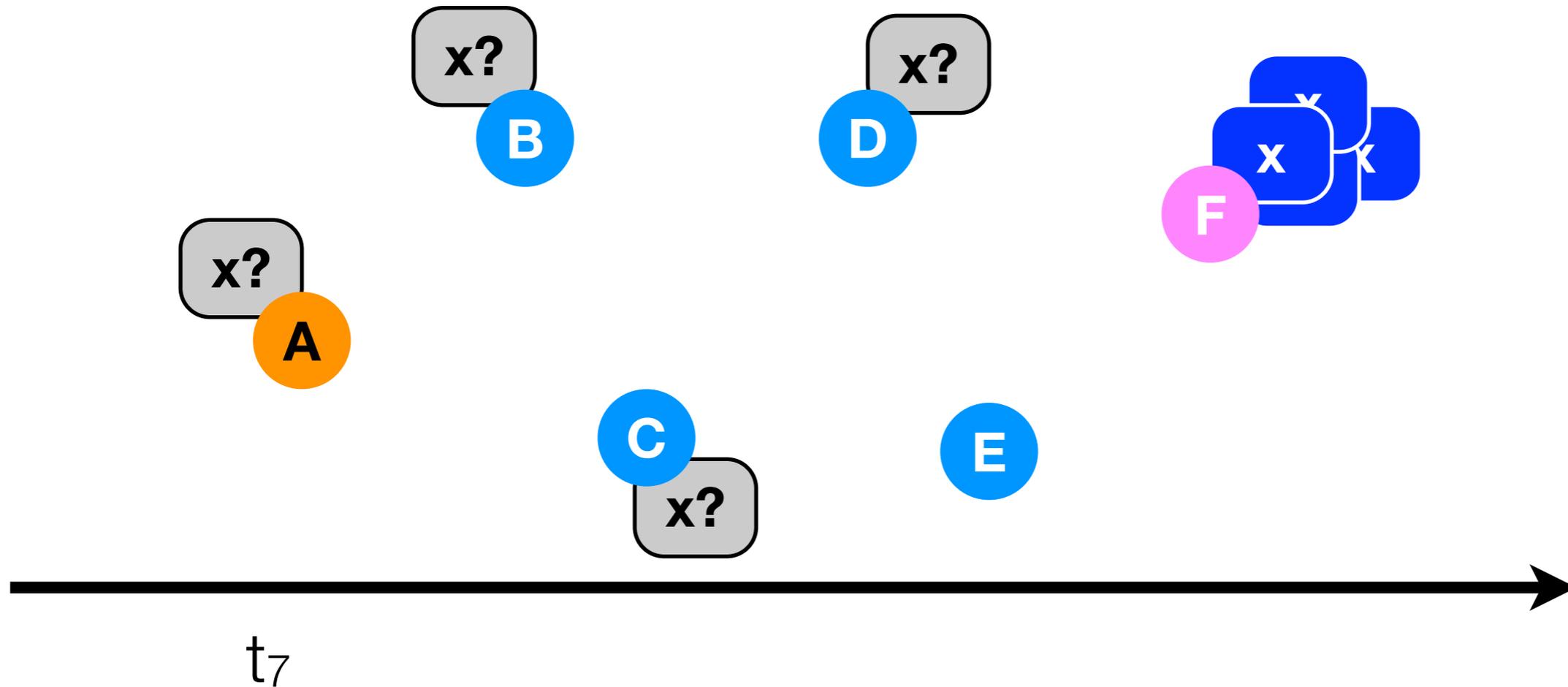
| Noeud | Souscription | Délai       | Sauts |
|-------|--------------|-------------|-------|
| A     | x?           | -           | -     |
| B     | x?           | $t_6 - t_1$ | 1     |
| C     | x?           | 0           | 1     |
| D     | x?           | $t_6 - t_2$ | 2     |
| E     | 37           |             |       |

# Dissémination des contenus



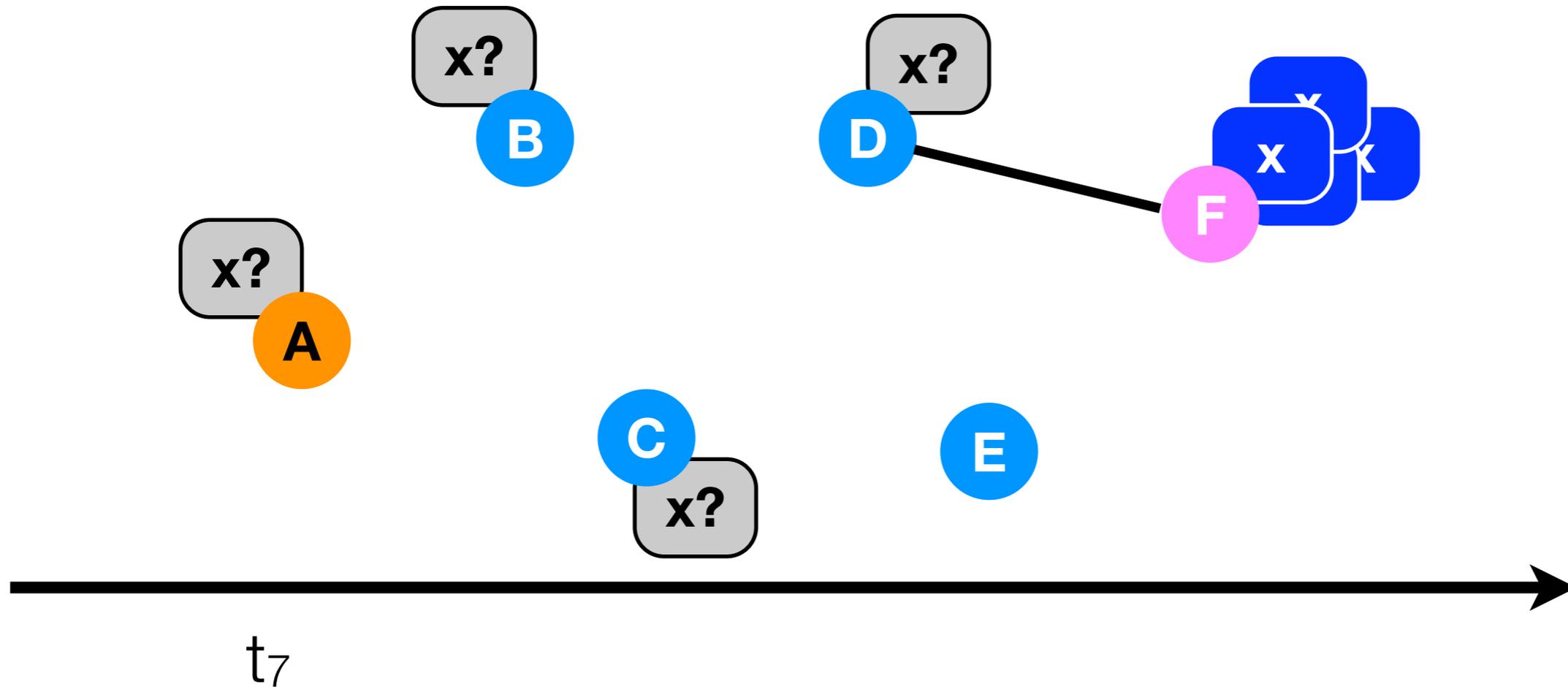
| Noeud | Souscription | Délai | Sauts |
|-------|--------------|-------|-------|
| A     | x?           | -     | -     |
| B     | x?           | $t_6$ | 1     |
| C     | x?           | 0     | 1     |
| D     | x?           | $t_6$ | 2     |
| E     | 38           |       |       |

# Dissémination des contenus



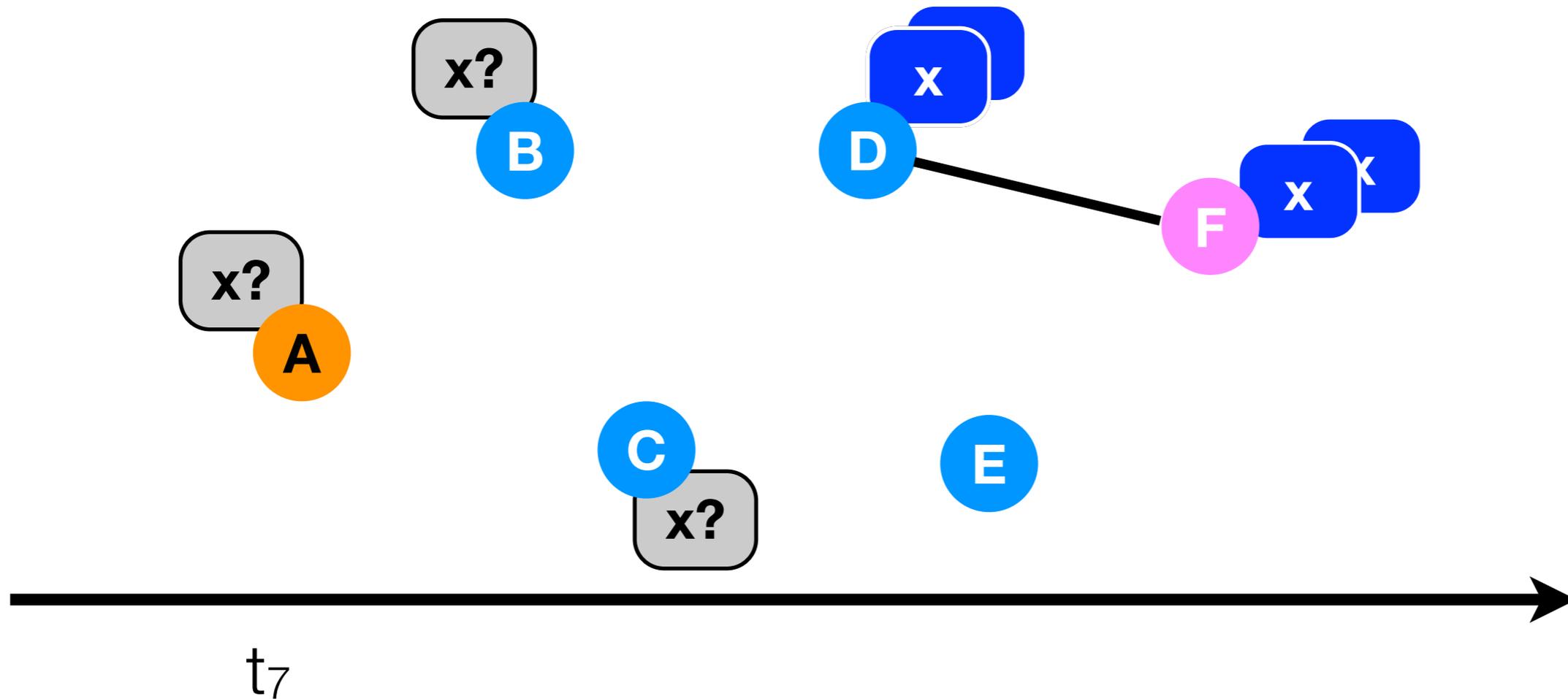
| Noeud | Souscription | Délai       | Sauts |
|-------|--------------|-------------|-------|
| A     | x?           | -           | -     |
| B     | x?           | $t_7 - t_1$ | 1     |
| C     | x?           | $t_7 - t_6$ | 1     |
| D     | x?           | $t_7 - t_2$ | 2     |
| E     | 38           |             |       |

# Dissémination des contenus



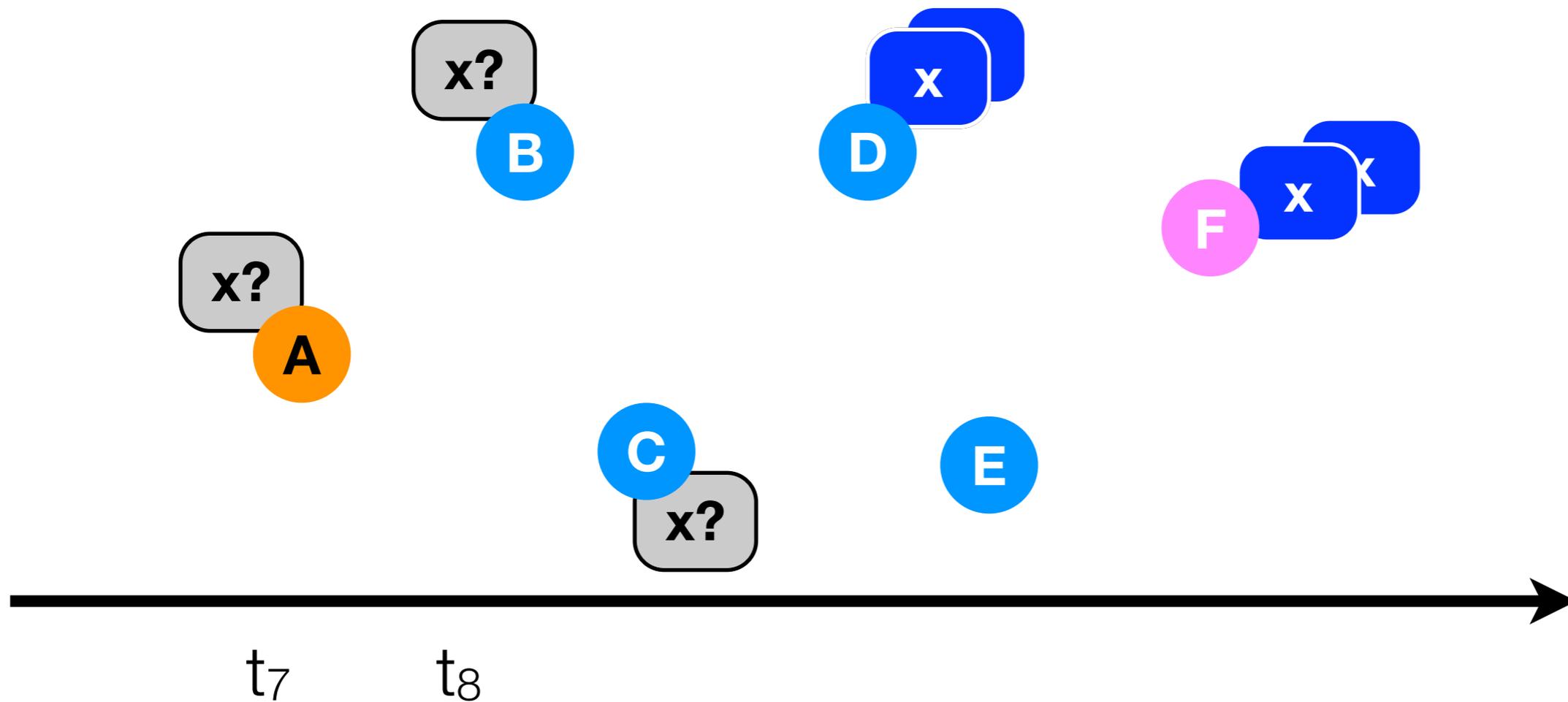
| Noeud | Souscription | Délai       | Sauts |
|-------|--------------|-------------|-------|
| A     | x?           | -           | -     |
| B     | x?           | $t_7 - t_1$ | 1     |
| C     | x?           | $t_7 - t_6$ | 1     |
| D     | x?           | $t_7 - t_2$ | 2     |
| E     | 38           |             |       |

# Dissémination des contenus



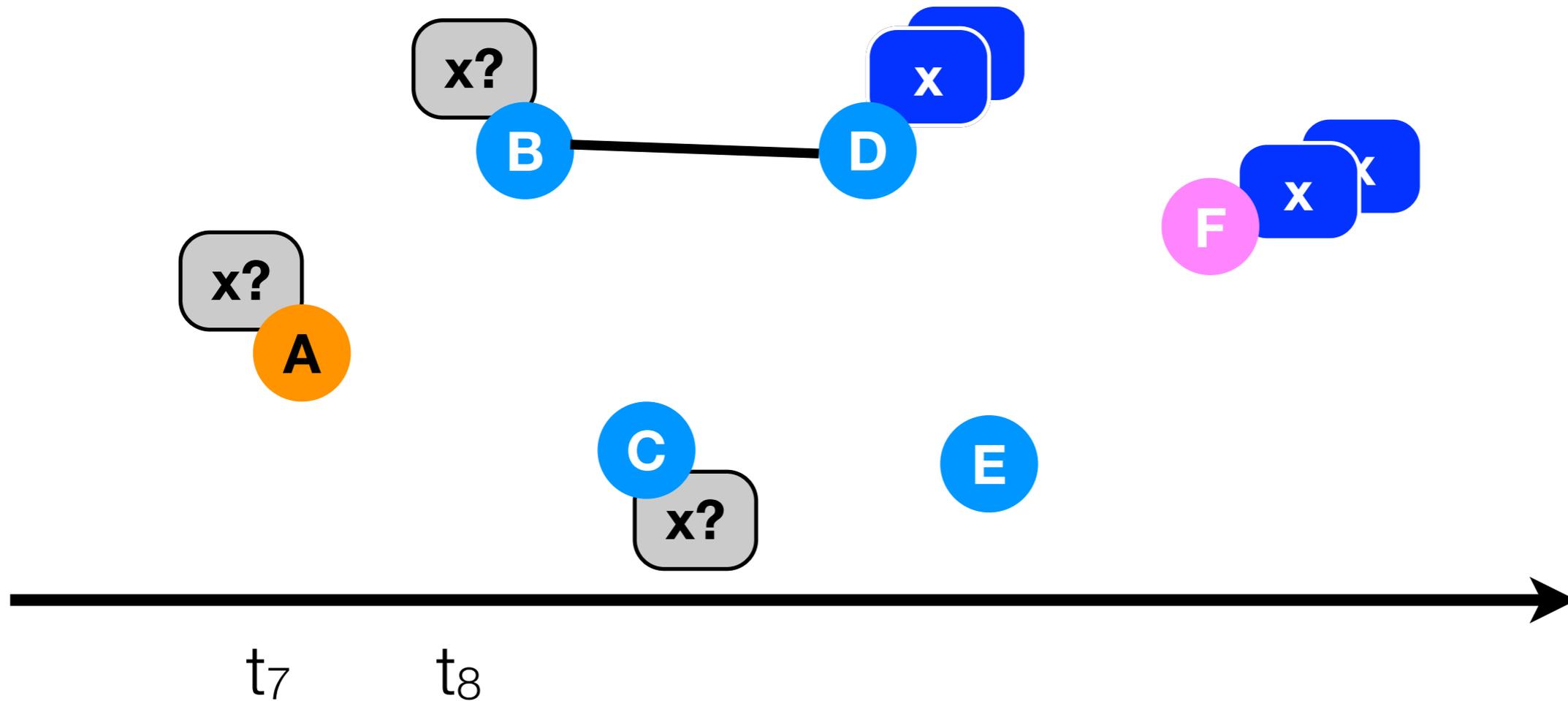
| Noeud | Souscription | Délai     | Sauts |
|-------|--------------|-----------|-------|
| A     | x?           | -         | -     |
| B     | x?           | $t_7-t_1$ | 1     |
| C     | x?           | $t_7-t_6$ | 1     |
| D     | x            | $t_7-t_2$ | 2     |
| E     | 38           |           |       |

# Dissémination des contenus



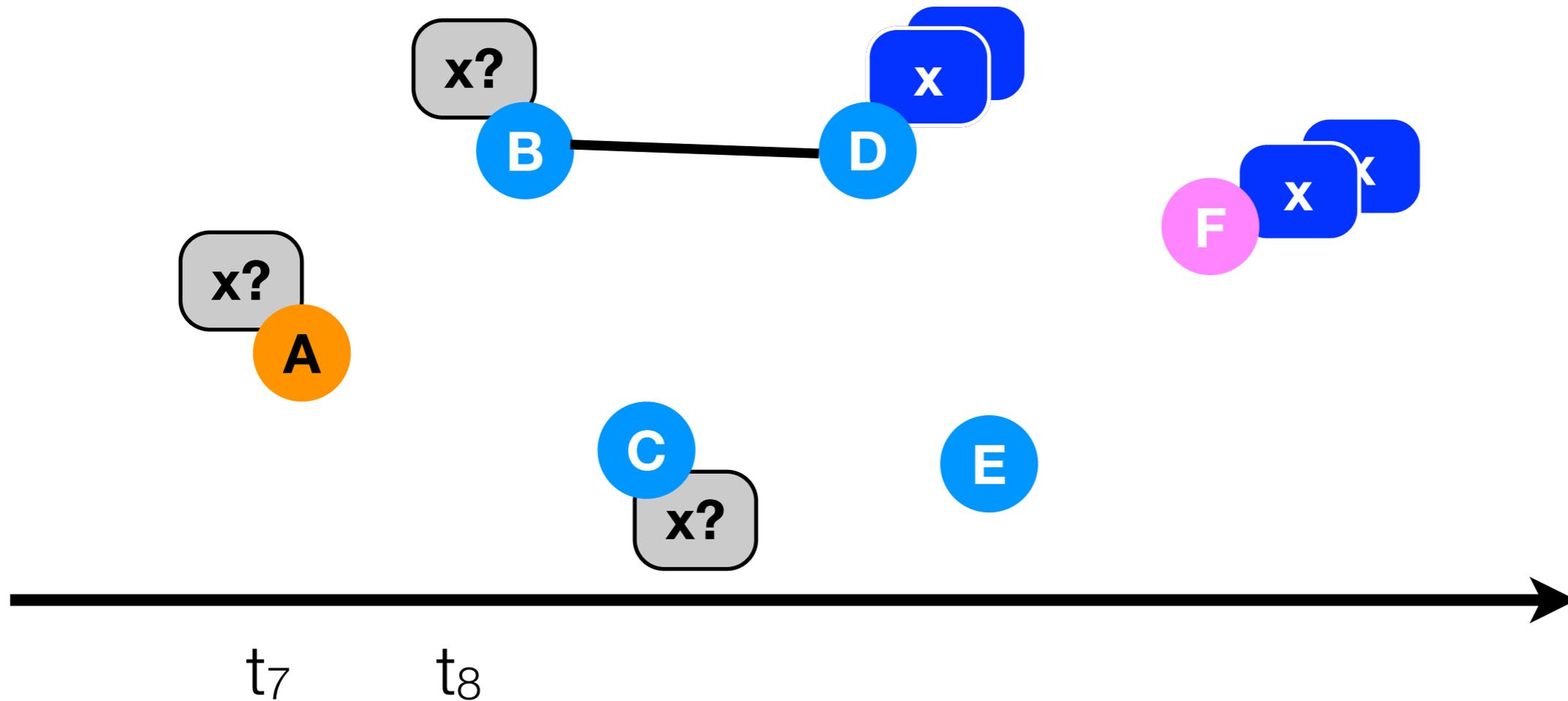
| Noeud | Souscription | Délai       | Sauts |
|-------|--------------|-------------|-------|
| A     | x?           | -           | -     |
| B     | x?           | $t_8 - t_1$ | 1     |
| C     | x?           | $t_8 - t_6$ | 1     |
| D     | x            | $t_8 - t_2$ | 2     |
| E     | 38           |             |       |

# Dissémination des contenus



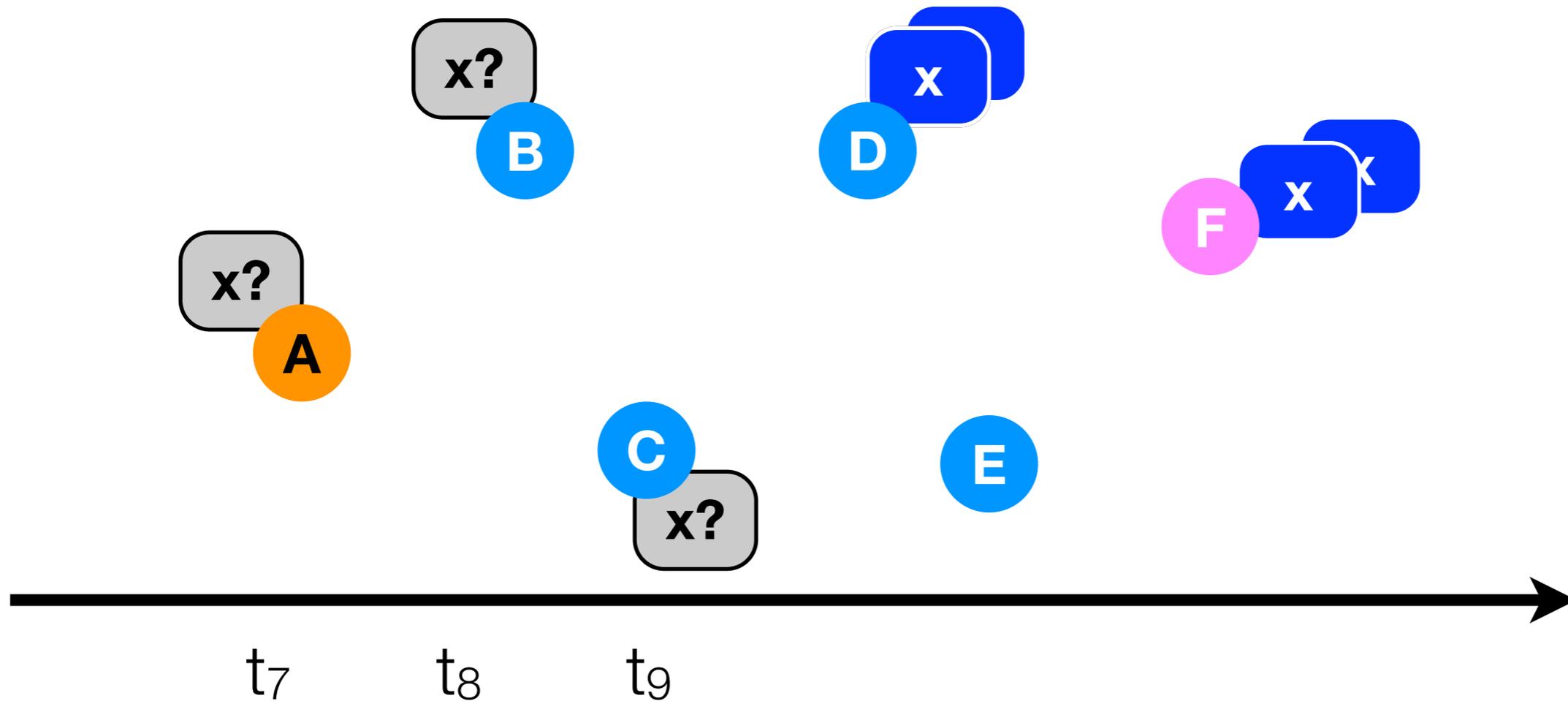
| Noeud | Souscription | Délai       | Sauts |
|-------|--------------|-------------|-------|
| A     | x?           | -           | -     |
| B     | x?           | $t_8 - t_1$ | 1     |
| C     | x?           | $t_8 - t_6$ | 1     |
| D     | x            | $t_8 - t_2$ | 2     |
| E     |              | 38          |       |

# Dissémination des contenus



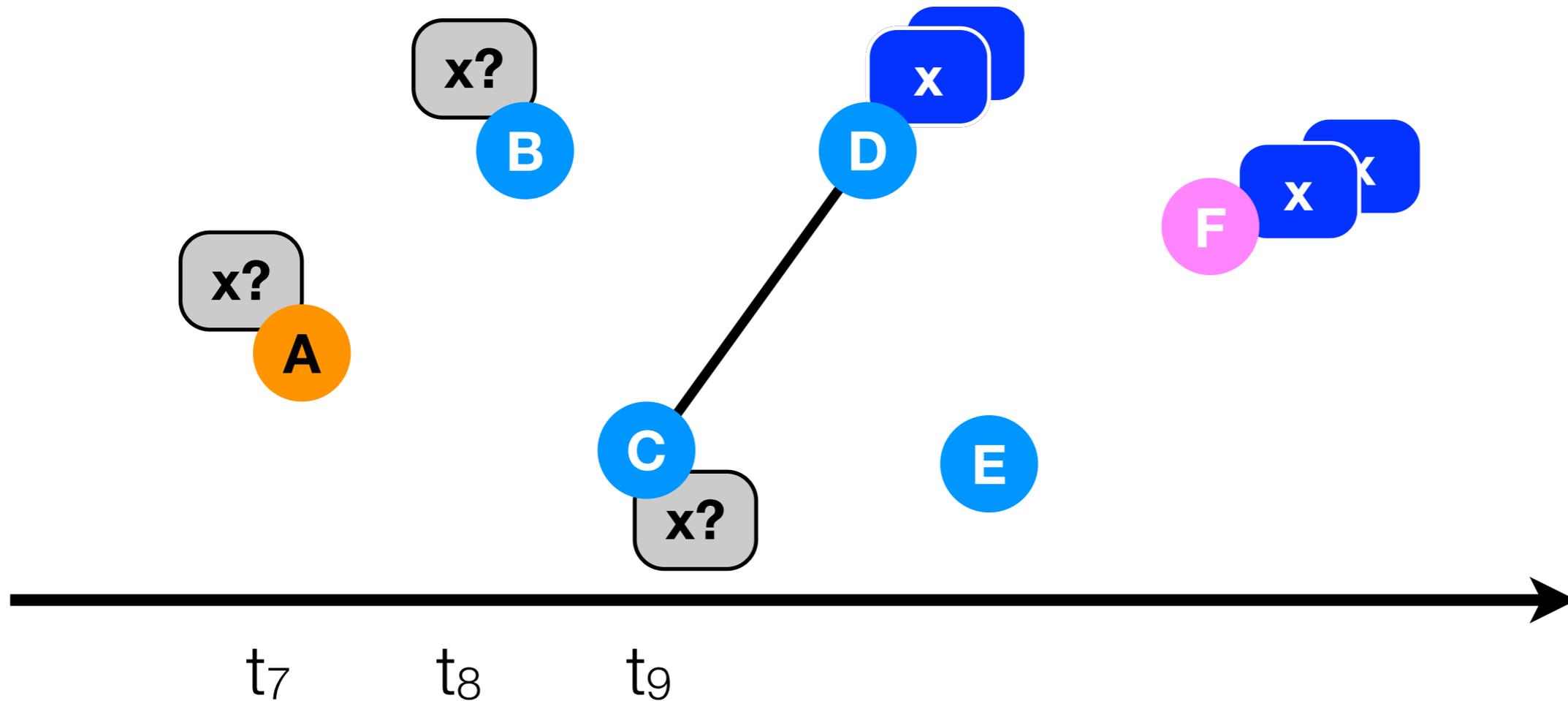
| Noeud | Souscription | Délai       | Sauts |
|-------|--------------|-------------|-------|
| A     | x?           | -           | -     |
| B     | x?           | $t_8 - t_2$ | 3     |
| C     | x?           | $t_8 - t_6$ | 1     |
| D     | x            | $t_8 - t_2$ | 2     |
| E     |              | 38          |       |

# Dissémination des contenus



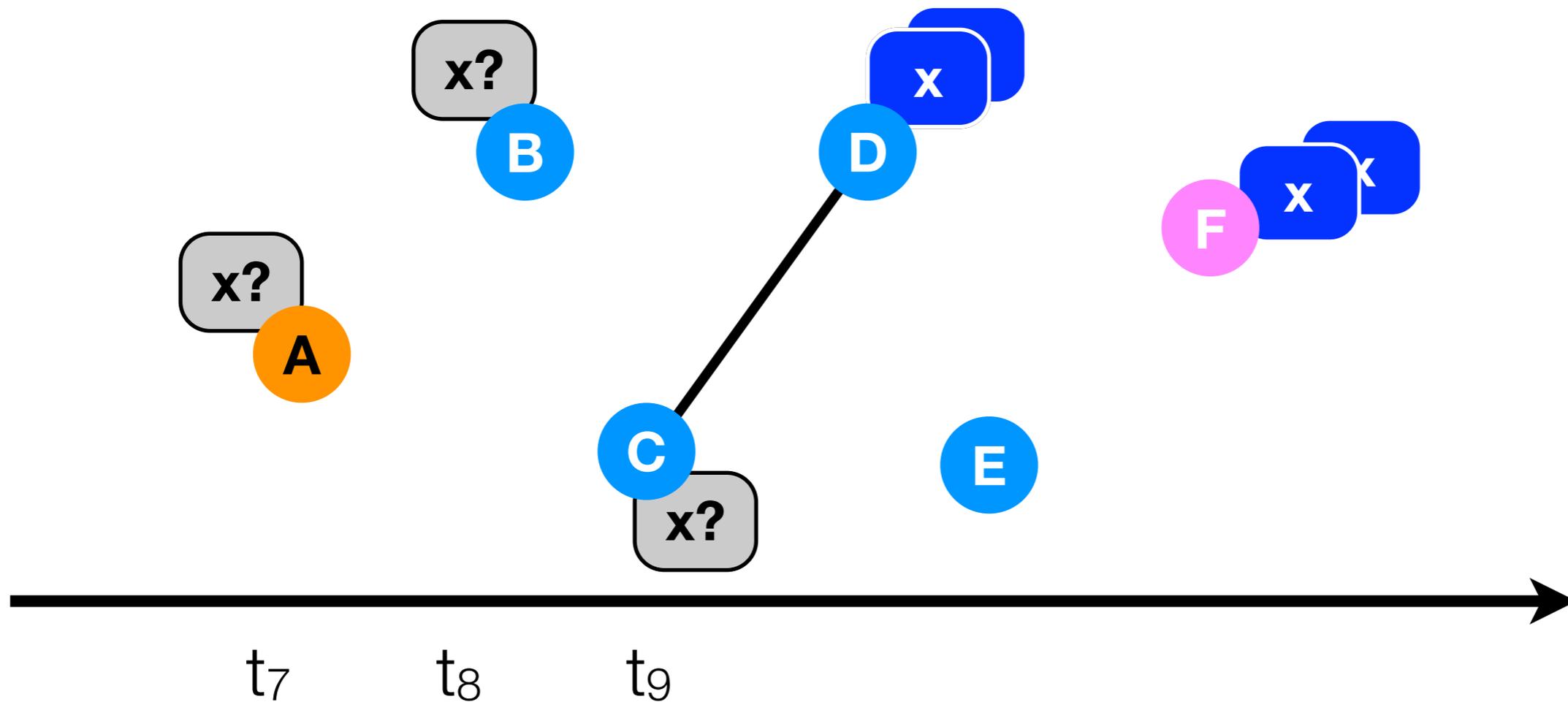
| Noeud | Souscription | Délai       | Sauts |
|-------|--------------|-------------|-------|
| A     | x?           | -           | -     |
| B     | x?           | $t_9 - t_2$ | 3     |
| C     | x?           | $t_9 - t_6$ | 1     |
| D     | x            | $t_9 - t_2$ | 2     |
| E     |              | 38          |       |

# Dissémination des contenus



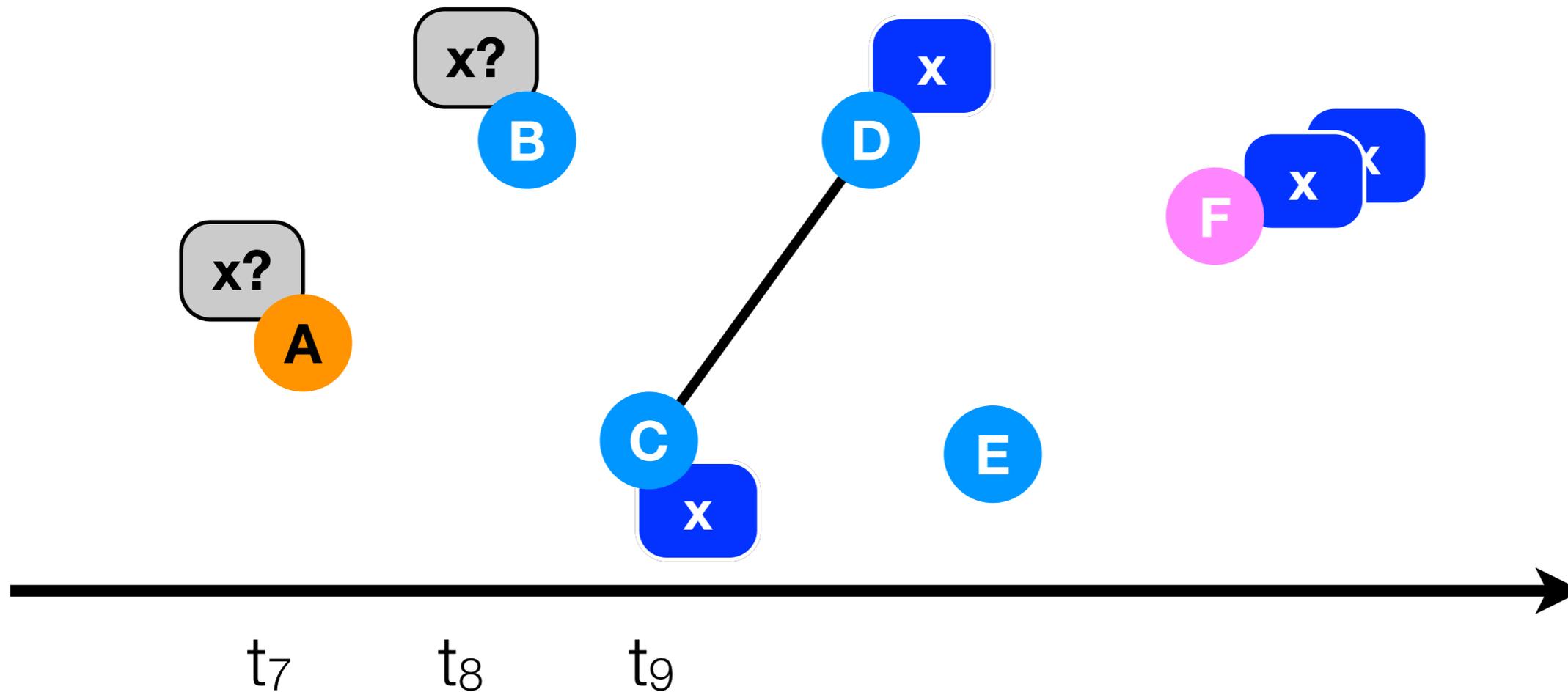
| Noeud | Souscription | Délai       | Sauts |
|-------|--------------|-------------|-------|
| A     | x?           | -           | -     |
| B     | x?           | $t_9 - t_2$ | 3     |
| C     | x?           | $t_9 - t_6$ | 1     |
| D     | x            | $t_9 - t_2$ | 2     |
| E     |              | 38          |       |

# Dissémination des contenus



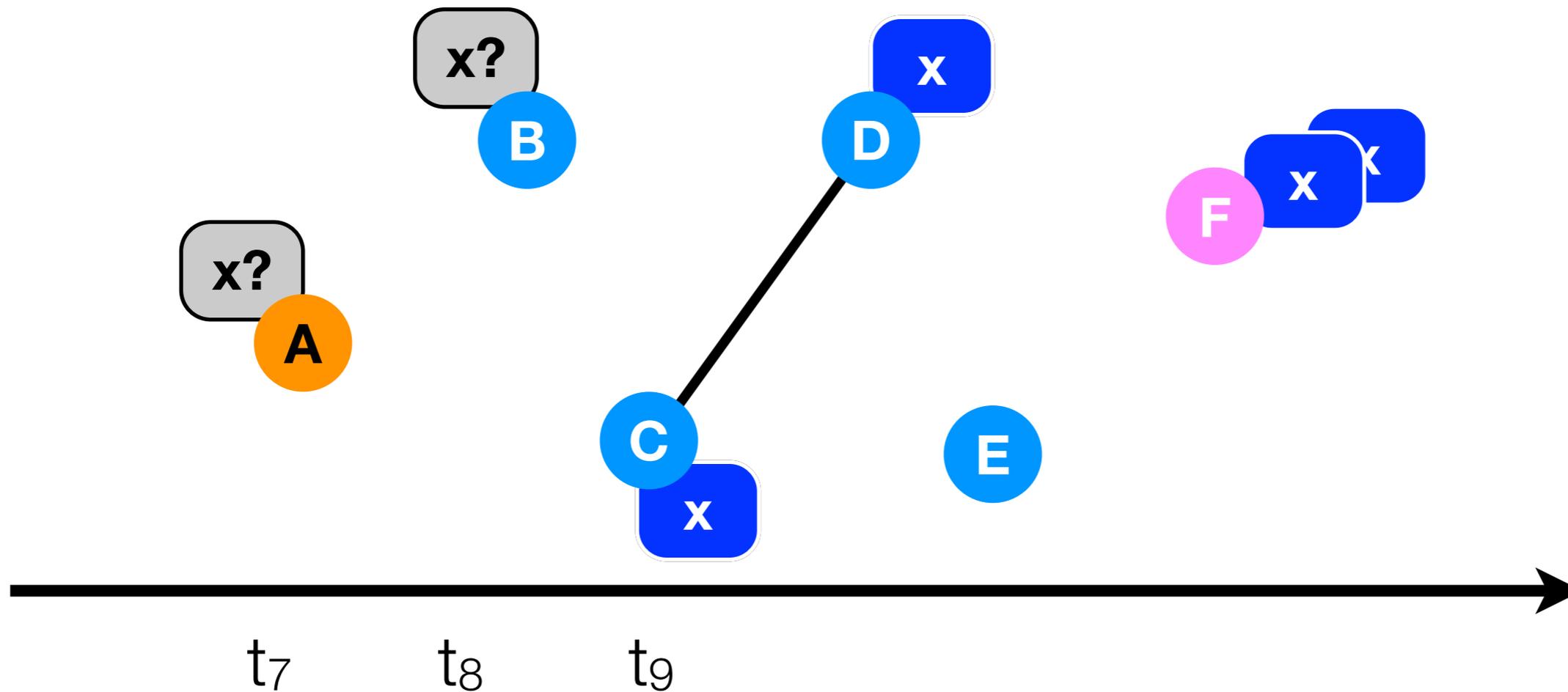
| Noeud | Souscription | Délai       | Sauts |
|-------|--------------|-------------|-------|
| A     | x?           | -           | -     |
| B     | x?           | $t_9 - t_2$ | 3     |
| C     | x?           | $t_9 - t_6$ | 1     |
| D     | x            | $t_9 - t_6$ | 2     |
| E     |              |             | 38    |

# Dissémination des contenus



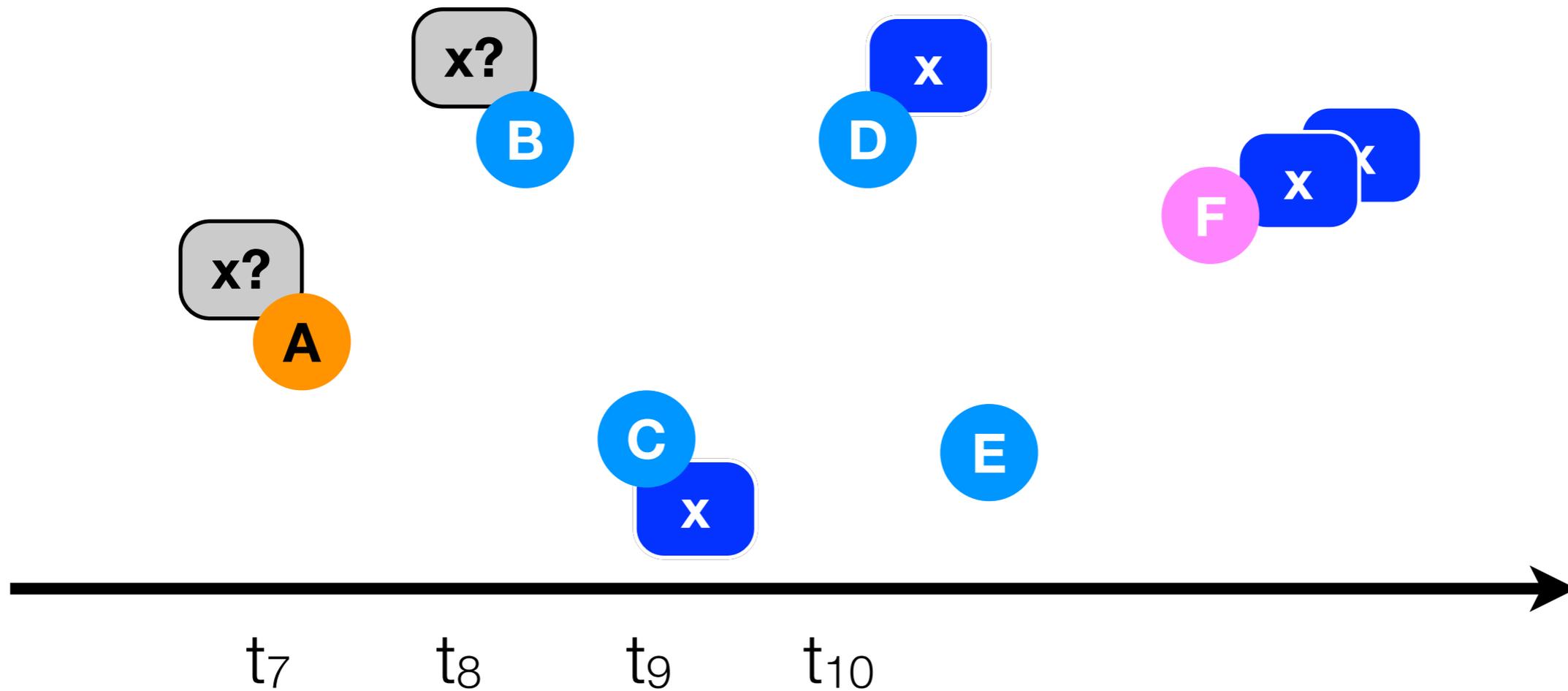
| Noeud | Souscription | Délai       | Sauts |
|-------|--------------|-------------|-------|
| A     | x?           | -           | -     |
| B     | x?           | $t_9 - t_2$ | 3     |
| C     | x?           | $t_9 - t_6$ | 1     |
| D     | x            | $t_9 - t_6$ | 2     |
| E     |              |             | 38    |

# Dissémination des contenus



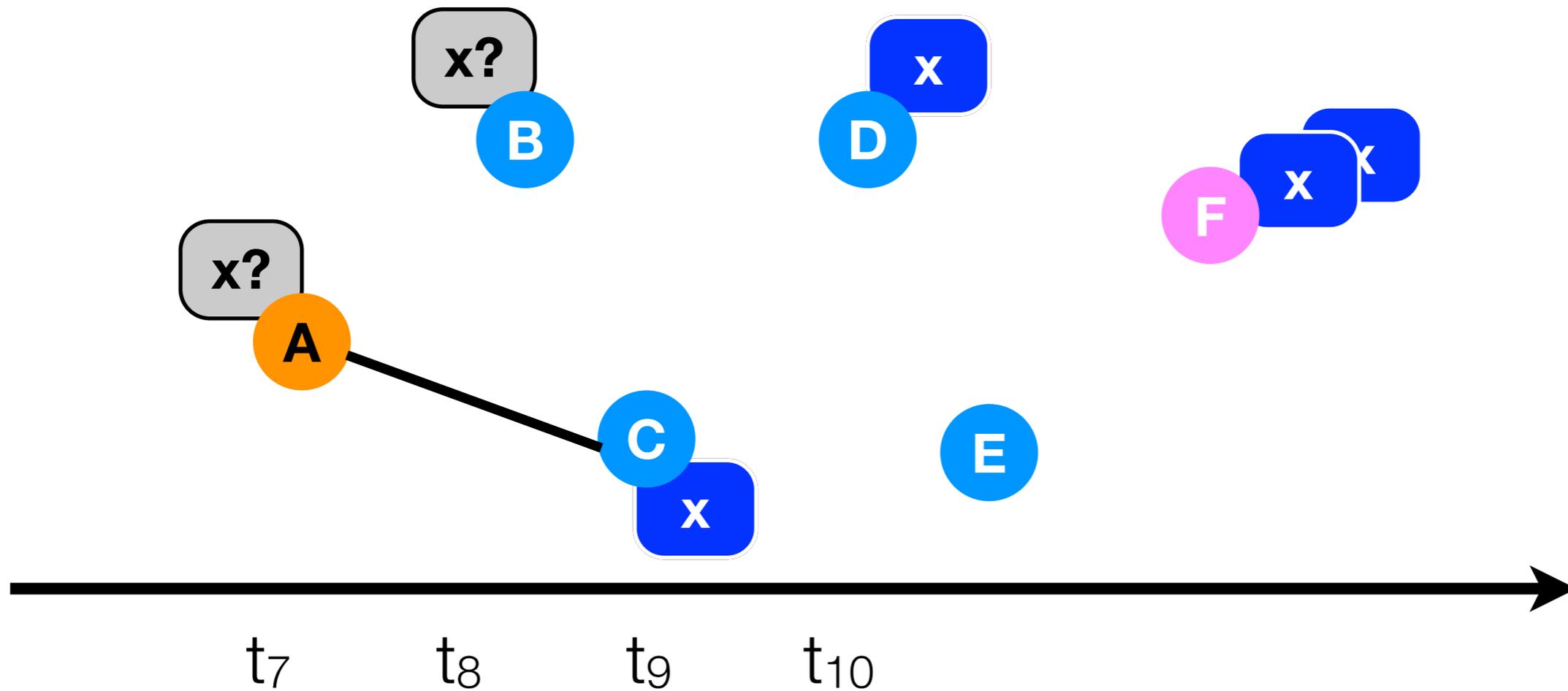
| Noeud | Souscription | Délai       | Sauts |
|-------|--------------|-------------|-------|
| A     | x?           | -           | -     |
| B     | x?           | $t_9 - t_2$ | 3     |
| C     | x            | $t_9 - t_6$ | 1     |
| D     | x            | $t_9 - t_6$ | 2     |
| E     |              | 38          |       |

# Dissémination des contenus



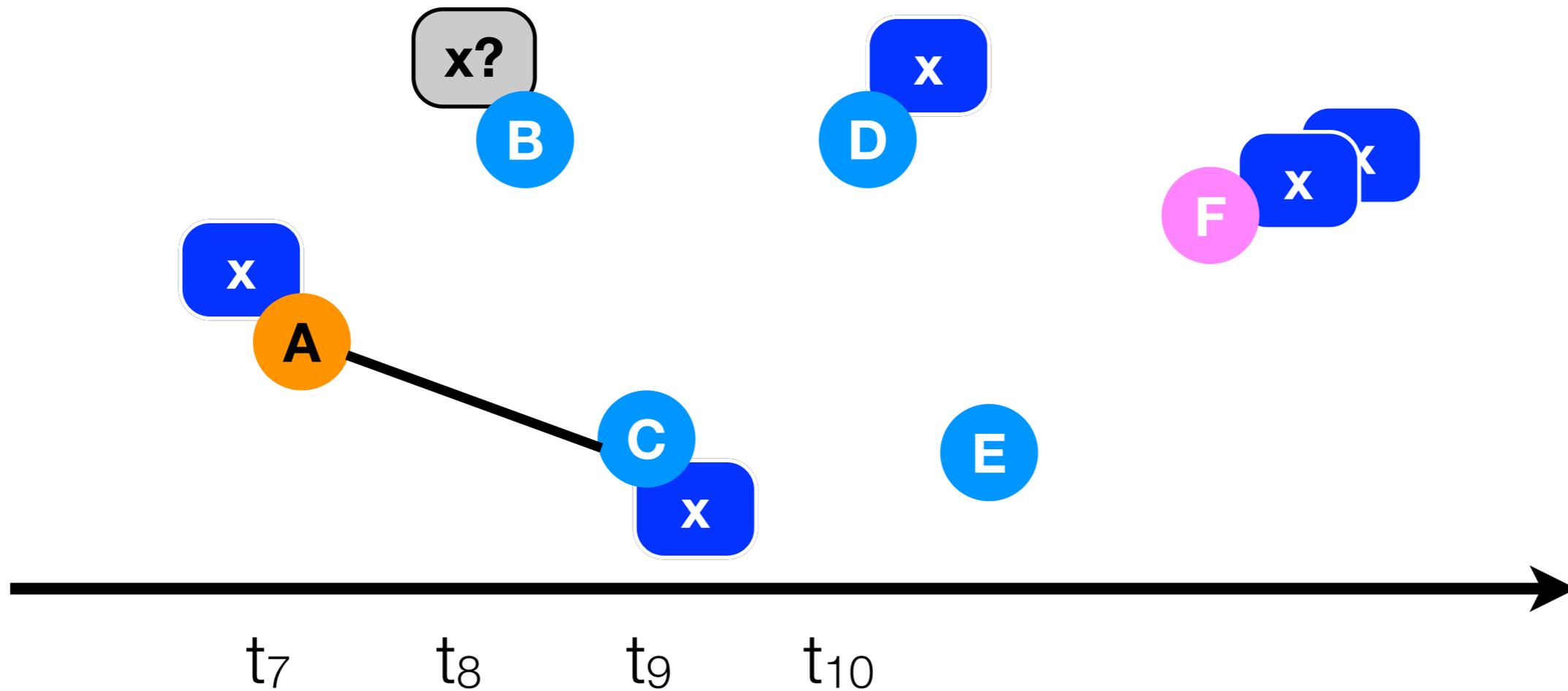
| Noeud    | Souscription | Délai        | Sauts    |
|----------|--------------|--------------|----------|
| <b>A</b> | x?           | -            | -        |
| <b>B</b> | x?           | $t_{10}-t_2$ | <b>3</b> |
| <b>C</b> | x            | $t_{10}-t_6$ | 1        |
| <b>D</b> | x            | $t_{10}-t_6$ | 2        |
| <b>E</b> | 38           |              |          |

# Dissémination des contenus



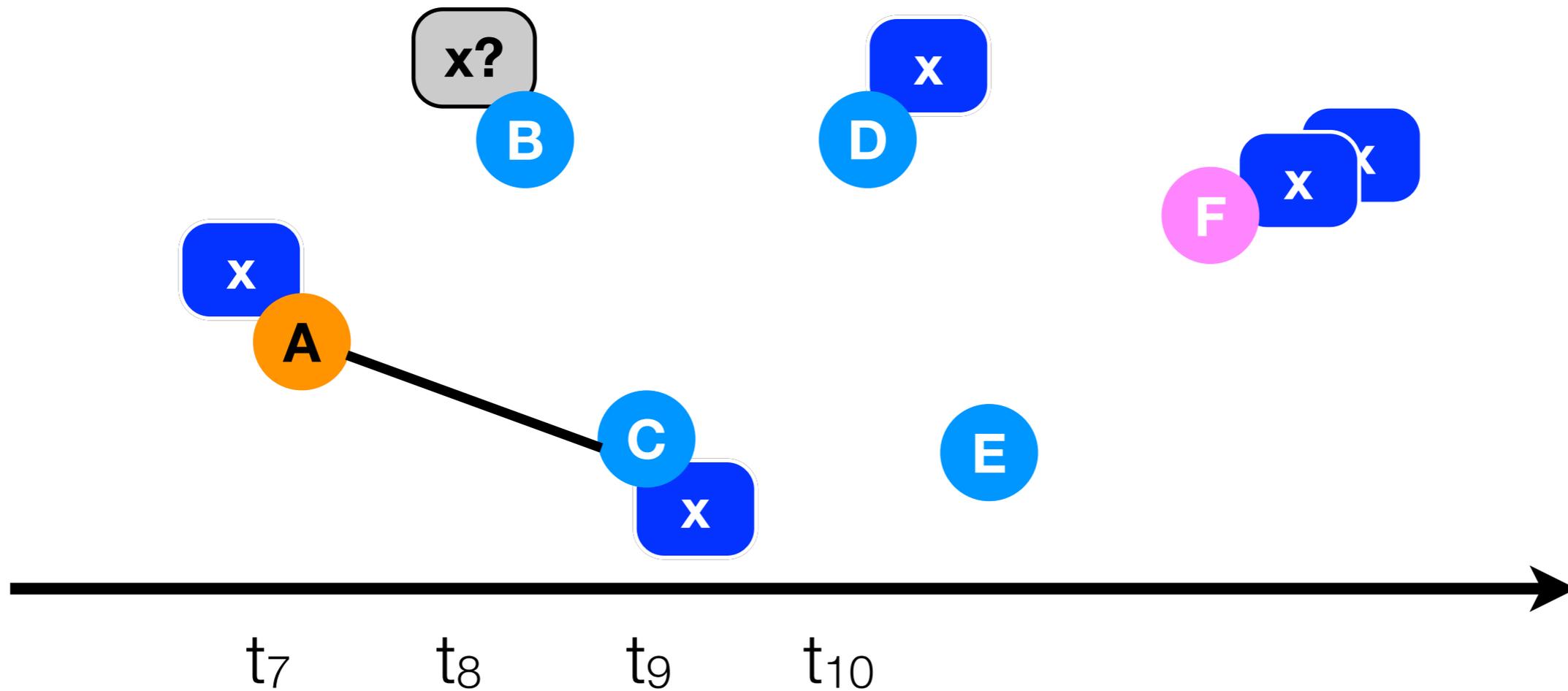
| Noeud    | Souscription | Délai        | Sauts    |
|----------|--------------|--------------|----------|
| <b>A</b> | x?           | -            | -        |
| <b>B</b> | x?           | $t_{10}-t_2$ | <b>3</b> |
| <b>C</b> | x            | $t_{10}-t_6$ | 1        |
| <b>D</b> | x            | $t_{10}-t_6$ | 2        |
| <b>E</b> |              | 38           |          |

# Dissémination des contenus



| Noeud | Souscription | Délai        | Sauts |
|-------|--------------|--------------|-------|
| A     | x?           | -            | -     |
| B     | x?           | $t_{10}-t_2$ | 3     |
| C     | x            | $t_{10}-t_6$ | 1     |
| D     | x            | $t_{10}-t_6$ | 2     |
| E     |              | 38           |       |

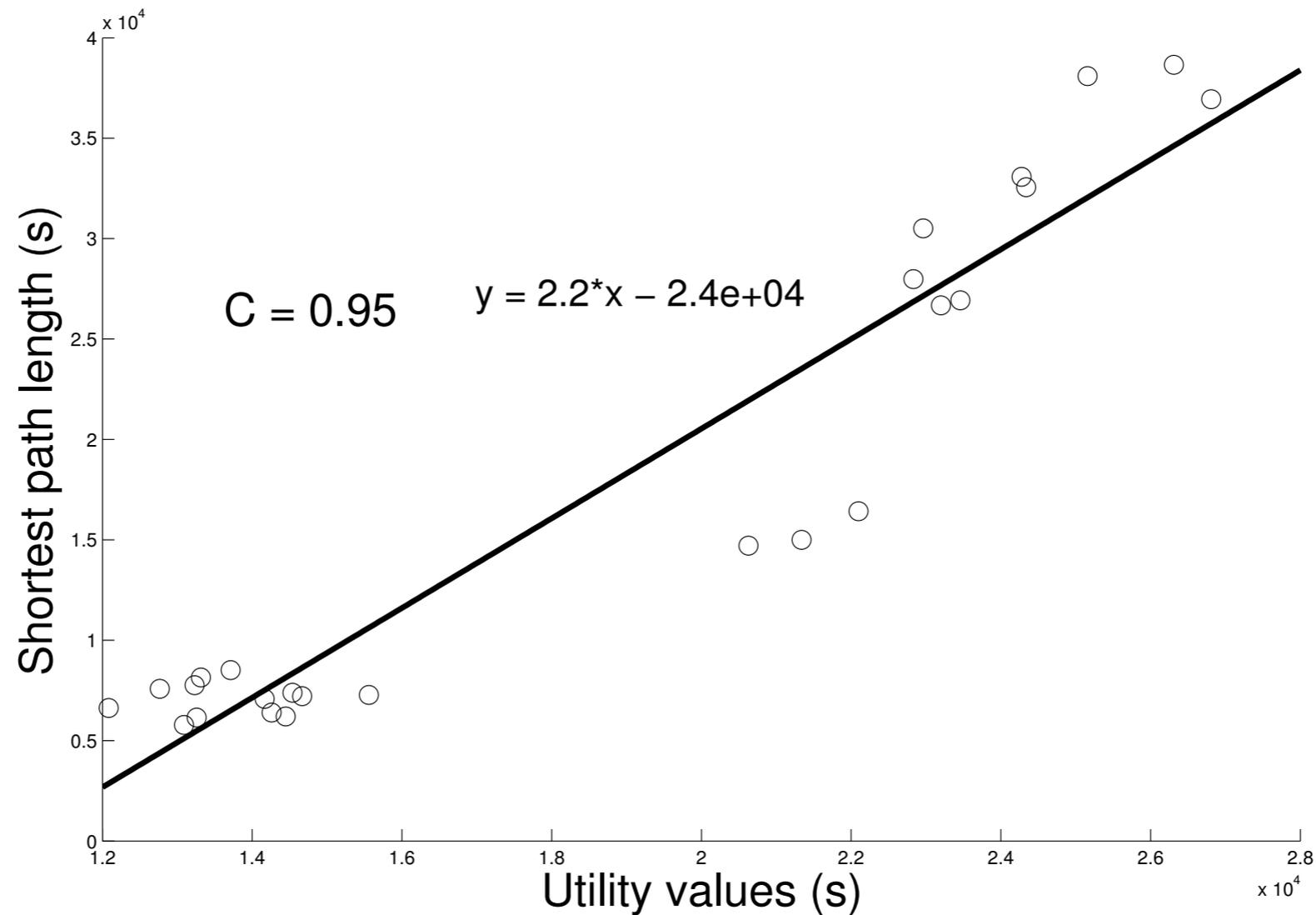
# Dissémination des contenus



| Noeud | Souscription | Délai        | Sauts |
|-------|--------------|--------------|-------|
| A     | x            | -            | -     |
| B     | x?           | $t_{10}-t_2$ | 3     |
| C     | x            | $t_{10}-t_6$ | 1     |
| D     | x            | $t_{10}-t_6$ | 2     |
| E     |              | 38           |       |

# Résultats

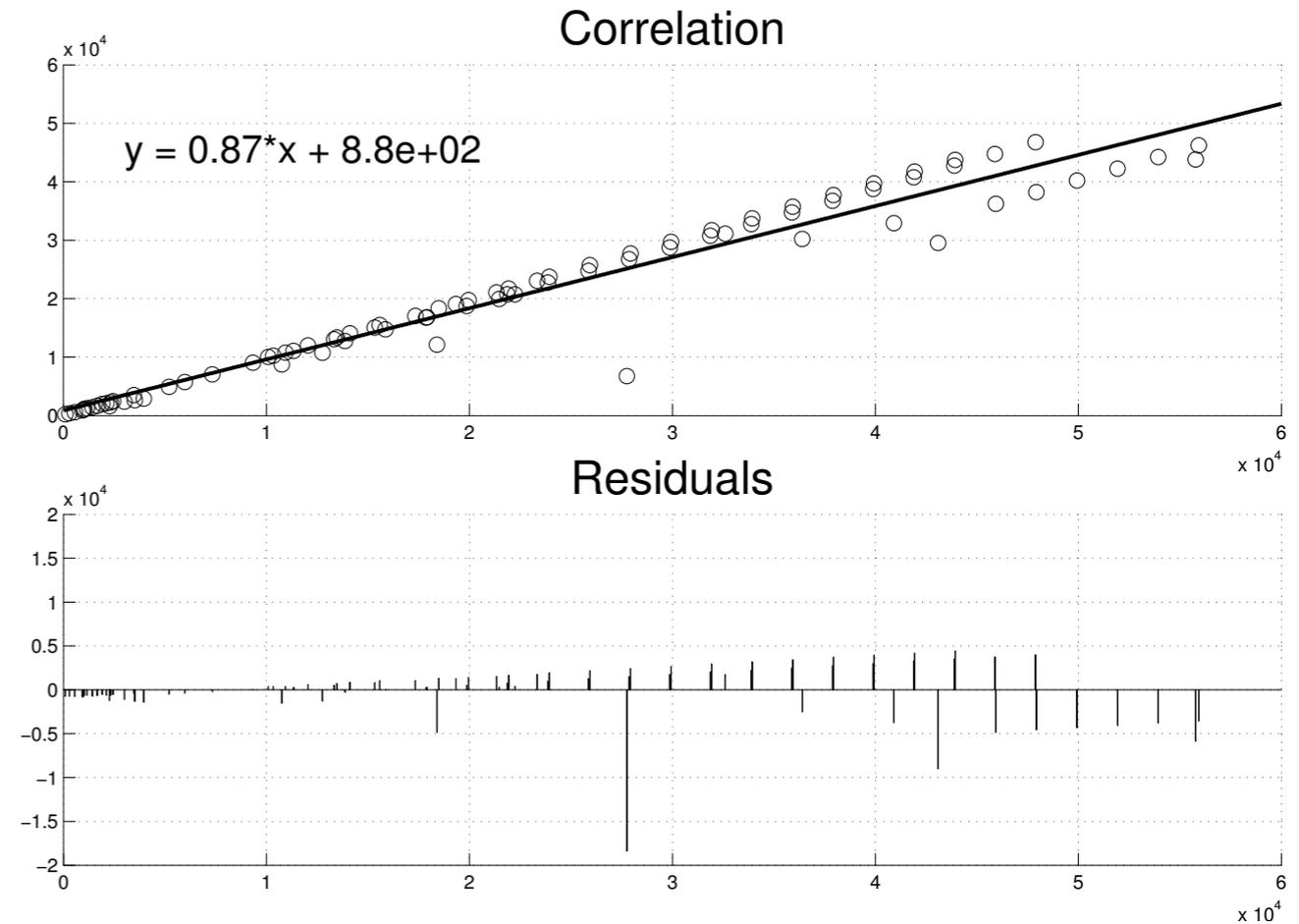
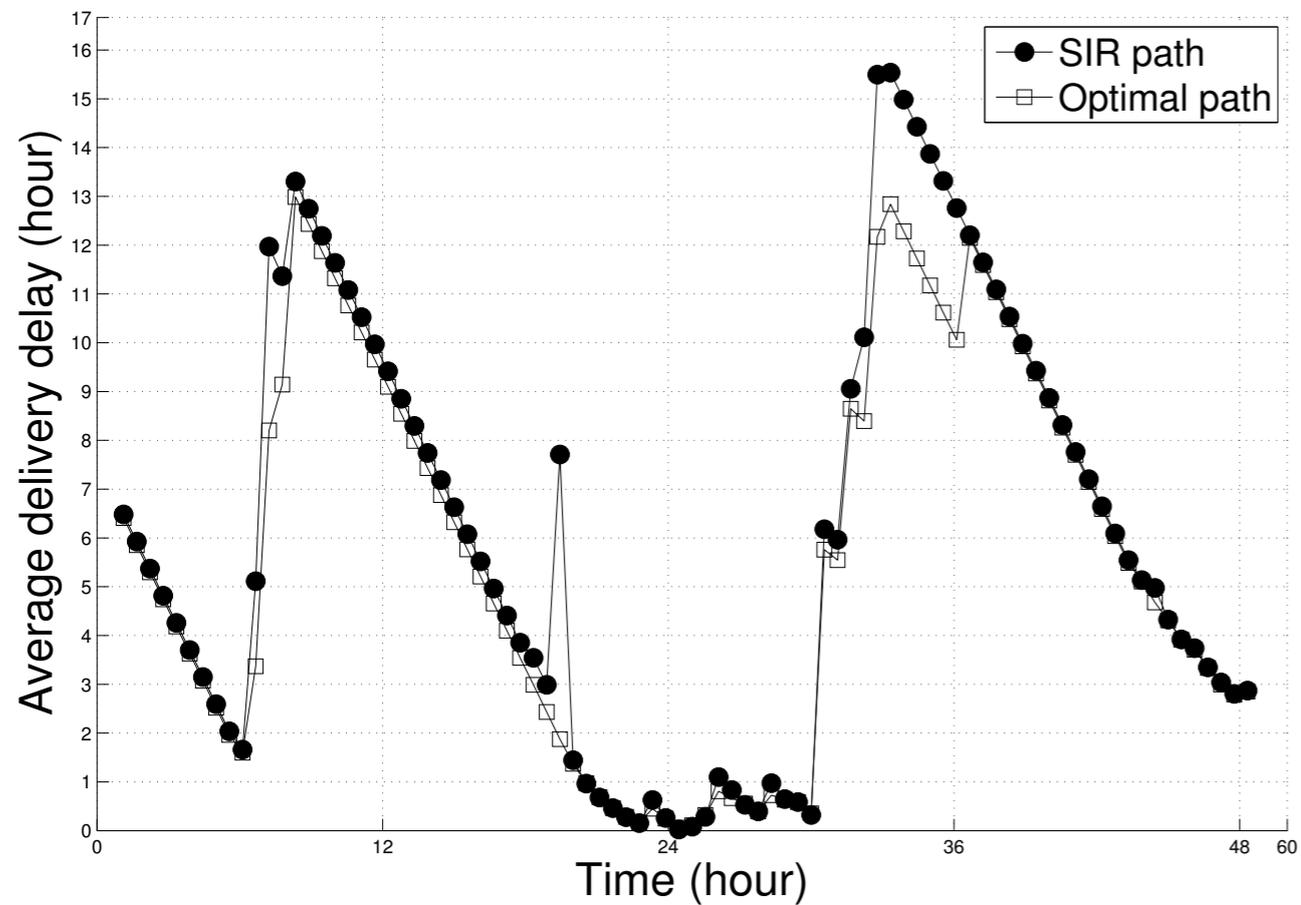
- Cohérence de la fonction d'utilité



Corrélation entre les valeurs d'utilité et la longueur du chemin le plus court mesurée sur les traces réelles

# Résultats

- SIR vs solution optimale



**SIR  $\approx$  Solution optimale**

# Résultats

- Comparaison de performances
  - SIR vs PROPHET vs BSAW
  - Mobilité : STEPS
  - Scénarios
    - Impact de la mobilité
    - Impact de la connectivité
    - Impact du nombre de noeuds

SIR délivre dans tous les cas de meilleures performances  
que PROPHET et BSAW

# Synthèse

- Routage intelligent à partir des comportements simples des individus
- Passant à l'échelle (2 scalaires par contenu)
- Ressources contrôlées (par BSAW)
- Bonnes performances

# Publications

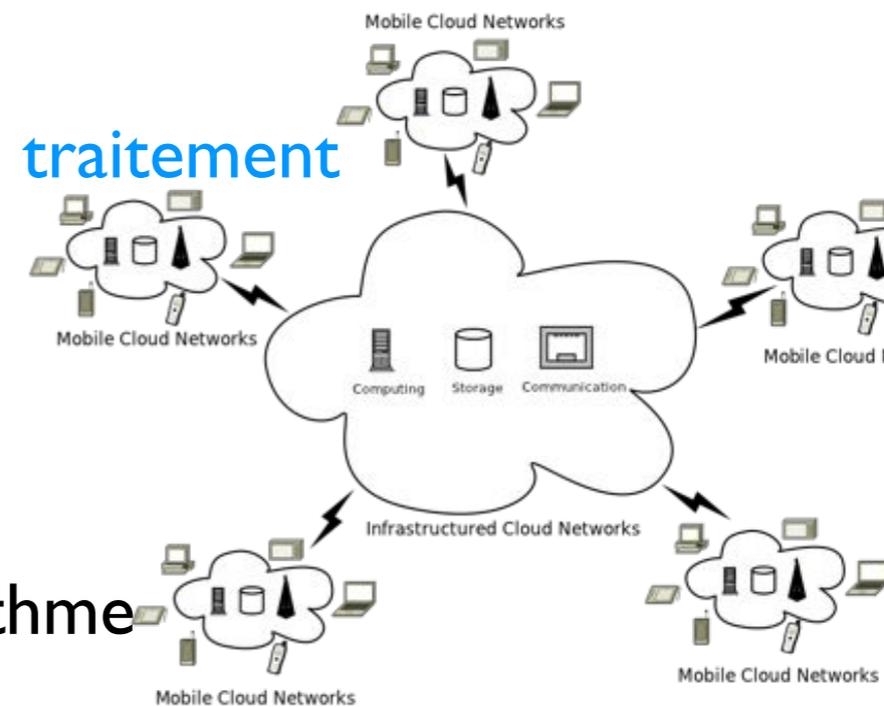
- **STIgmergy Routing (STIR) for Content-Centric Delay Tolerant Networks**  
*Anh-Dung Nguyen, Patrick Senac, Michel Diaz*  
Latin-American Workshop on Dynamic Networks (LAWDN) 2010
- **Swarm-based Intelligent Routing (SIR) - A New Approach for Efficient Routing in Content-Centric Delay Tolerant Networks**  
*Anh-Dung Nguyen, Patrick Senac, Michel Diaz*  
ACM MOBIWAC 2011
- **Pervasive Intelligent Routing in Content Centric Delay Tolerant Networks**  
*Anh-Dung Nguyen, Patrick Senac, Michel Diaz*  
IEEE PICom 2011

# Plan

- Introduction
- Modélisation
- Structure petit-monde
- Impacts du désordre
- Routage centré sur le contenu
- **Application au Mobile Cloud Computing**

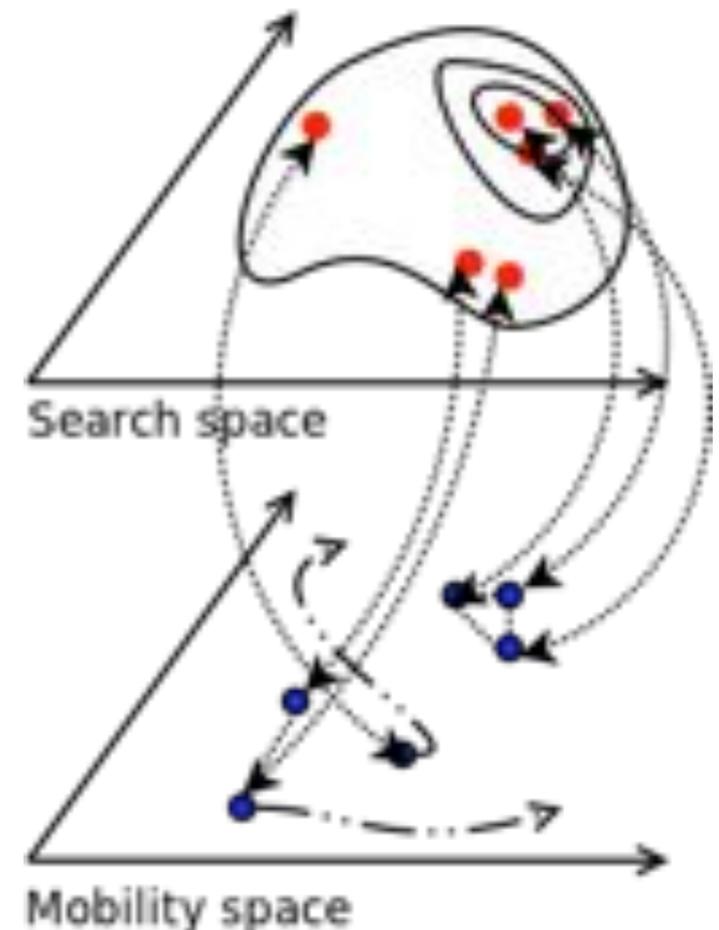
# Mobile Cloud Computing

- Cloud Computing : virtualisation des ressources pour offrir aux utilisateurs des services à la demande
- MCP : 2 écoles - approche centralisée vs **décentralisée**
- **Question : comment la mobilité influe sur la capacité de traitement distribuée du “mobile cloud” ?**
- Évaluation de la qualité de service d’un “mobile cloud”
  - Mobilité : STEPS
  - Service : optimiser une fonction en utilisant un algorithme réparti de type “Particle Swarm Optimization”
  - Le service est considéré terminé quand l’optimum global atteint une précision prédéfinie par l’utilisateur



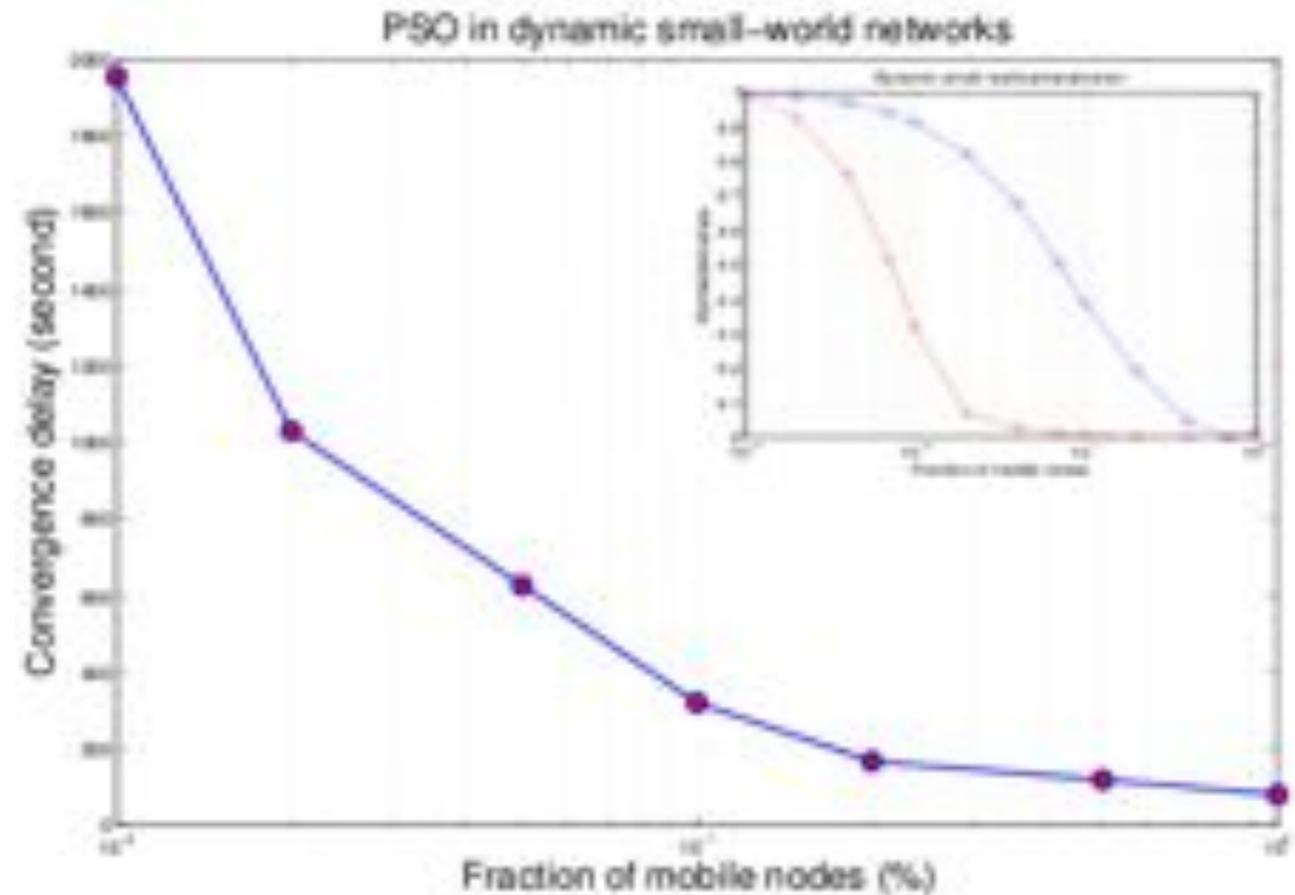
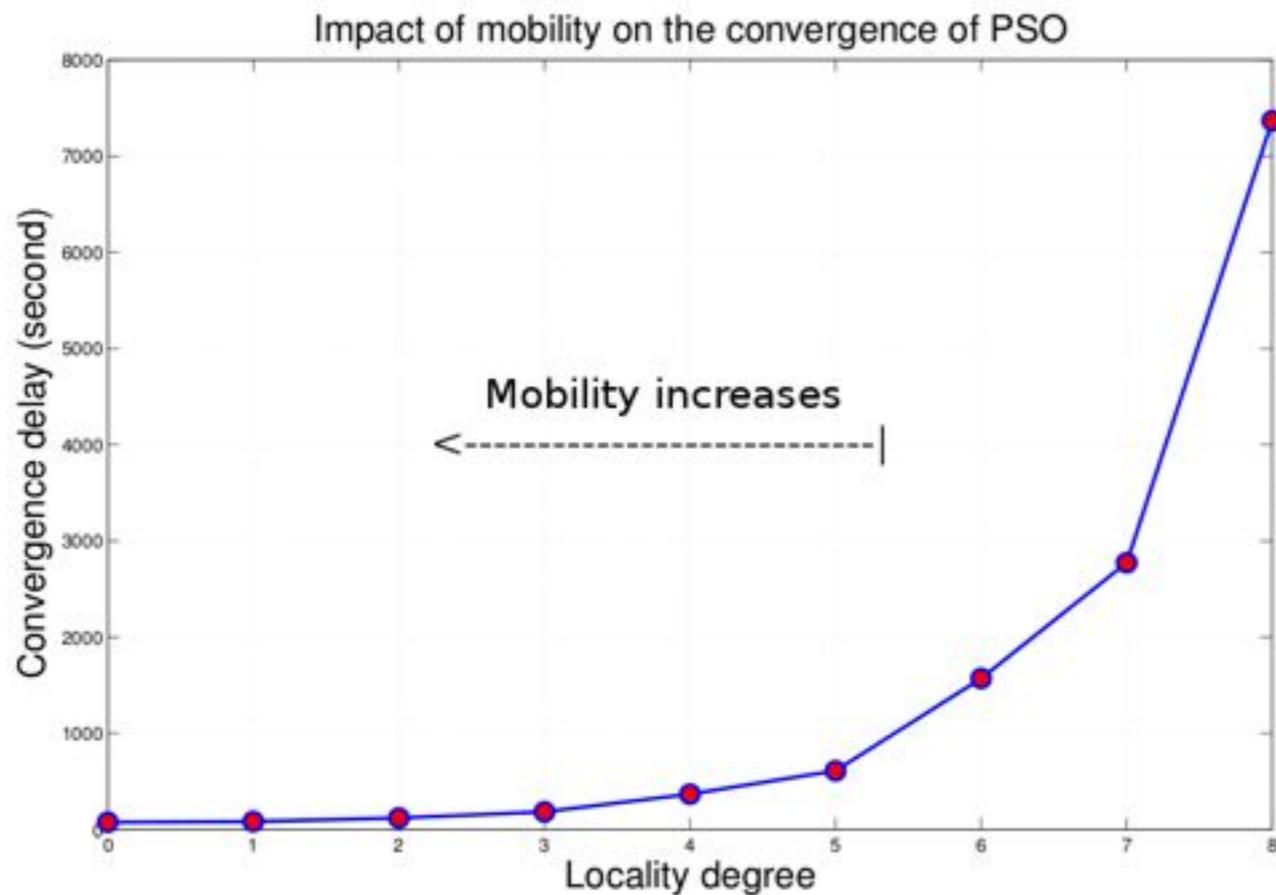
# Particle Swarm Optimisation

- Méthode d'optimisation multimodale basée sur l'intelligence par essaim
- 1 particule = 1 candidat de solution
- Particules se déplacent dans l'espace de recherche
- Mouvement des particules =  $f(\text{meilleure solution locale, meilleure solution globale})$
- L'essaim progresse collectivement vers l'optimum
- Dans le contexte des réseaux dynamiques
  - Particule = noeud mobile
  - Voisinage = contacts opportunistes
- La vitesse de convergence dépend de la mobilité ?



# Impact de la mobilité/structure

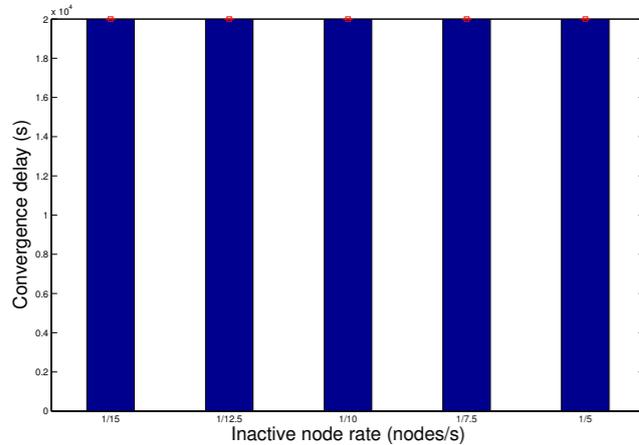
- Simulation :



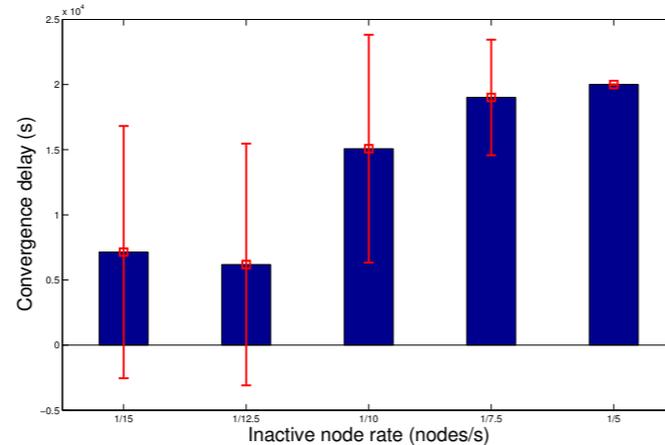
Mobilité et structure petit-monde augmentent significativement la capacité de traitement des MCs

# Résilience des MCs

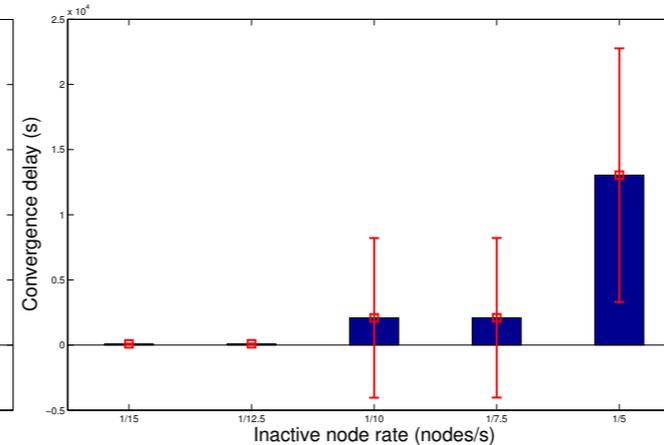
- Comment MCC résiste à la perte de noeuds ?
  - Défaillance/départ des noeuds selon un processus de Poisson
  - Évaluation du délai de convergence du PSO sous différentes intensités de défaillance/départ de noeuds



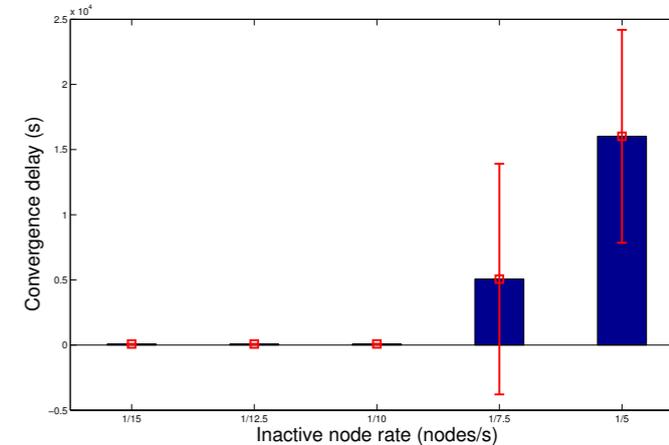
0% des  
noeuds nomades



10% des  
noeuds nomades



50% des  
noeuds nomades



100% des  
noeuds nomades

Structure petit-monde et mobilité renforcent la résilience des MCs

# Publications

- **How Mobility Increases Mobile Cloud Computing Processing Capacity**  
*Anh-Dung Nguyen, Patrick Senac, Victor Ramiro, Michel Diaz*  
IEEE NCCA 2012
- **Behavioral and Structural Analysis of Mobile Cloud Opportunistic Networks**  
*Anh-Dung Nguyen, Patrick Senac, Michel Diaz*  
Opportunistic Mobile Social Networks, CRC Press, 2014

# Plan

- Introduction
- Modélisation
- Structure petit-monde
- Impacts du désordre
- Routage centré sur le contenu
- Application au Mobile Cloud Computing
- **Conclusion & Perspective**

# Conclusion

- Modèle couvrant un large spectre de patterns de mobilité humaine
- Analyses approfondies de la structure des réseaux dynamiques et ses impacts sur le routage
  - Structure de petit-monde
  - Impact du désordre
- Protocole de routage centré sur le contenu, simple, efficace et passant à l'échelle
- Étude sur le Mobile Cloud Computing

# Perspectives

- STEPS
  - Extension du modèle : Multiple zones de prédilection, comportement humain dans les réseaux sociaux (zone = sujet d'intérêt)
  - Analyse plus fine sur la capacité à reproduire des performances de routage
  - Expression analytique complète
- Structure de petit-monde :
  - identifier d'autres conditions suffisantes et nécessaires pour l'émergence de la structure
  - analyses de grandes traces
- Structure et ordre
  - Modèle plus réaliste : considération des différentes fréquences de contacts pour chaque noeuds, ...
  - Une version adaptative de GRAD-DOWN et GRAD-UP
  - Les réseaux structurés autour d'une activité sociale adaptent-ils leur niveau de désordre pour optimiser la capacité de communication ? (analyse de traces de divers types)
- Etude de la propriété "scale free" des réseaux dynamiques
- Etude sur l'application crowdsourcing décentralisé
- SIR
  - Étude plus approfondie sur le cas de multiples utilisateurs
  - Etude et optimisation du temps d'initialisation
  - Intégrer des contraintes relatives à la bufferisation et à la bande passante
- MCC

