

# Audition CNRS

**Kévin Vermeulen**

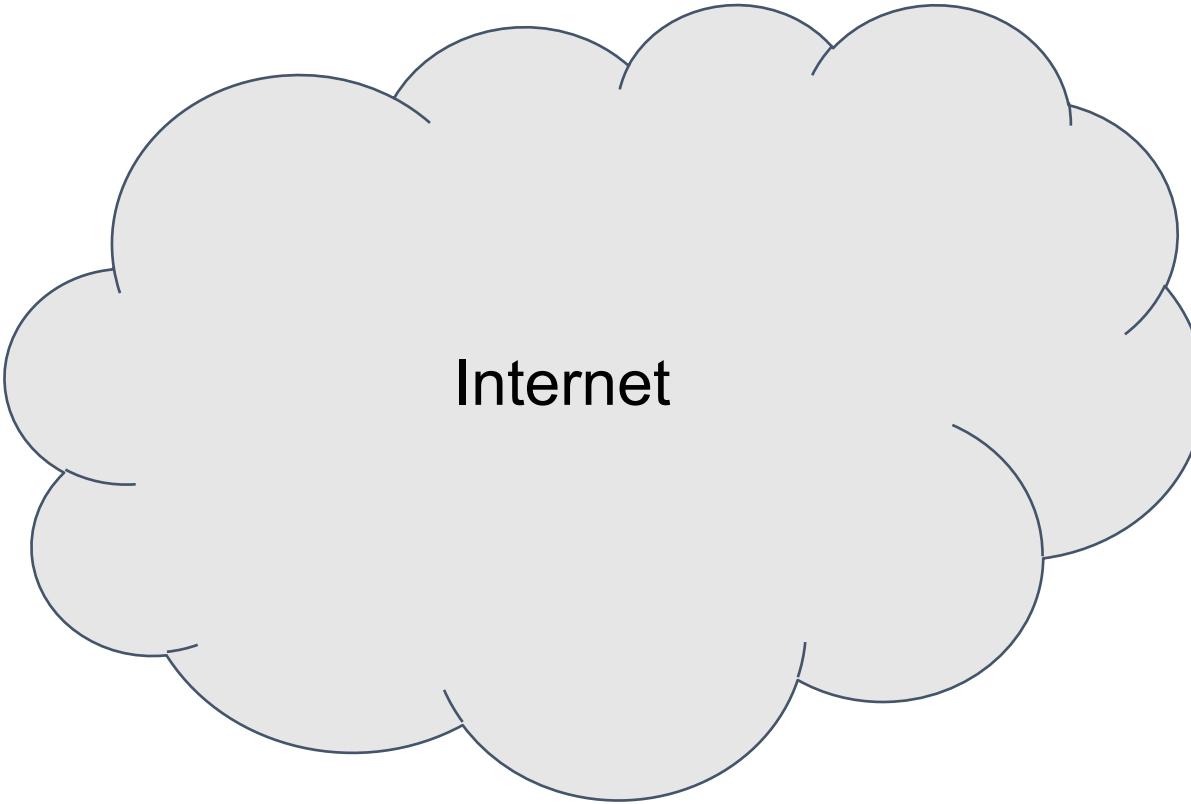
9 Avril 2021



**COLUMBIA | ENGINEERING**  
The Fu Foundation School of Engineering and Applied Science

# Curriculum

- Classes préparatoires MPSI/MP, lycée Henri 4
- Diplôme d'Ingénieur de IMT Atlantique
- Ingénieur logiciel dans l'industrie (1 an)
- Doctorat à Sorbonne Université
- Postdoc à Columbia University (professeur Ethan Katz-Bassett)



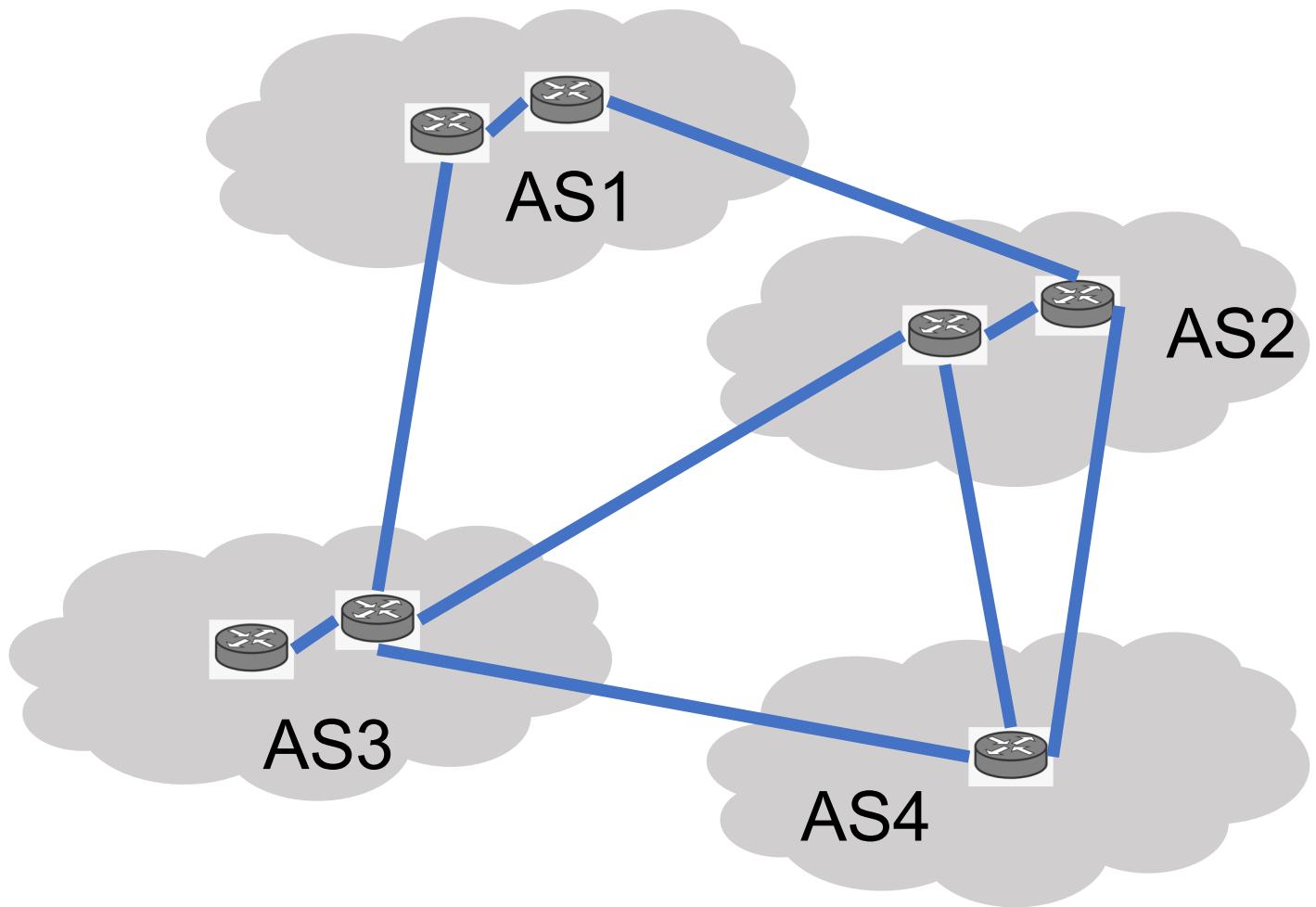
**Internet**

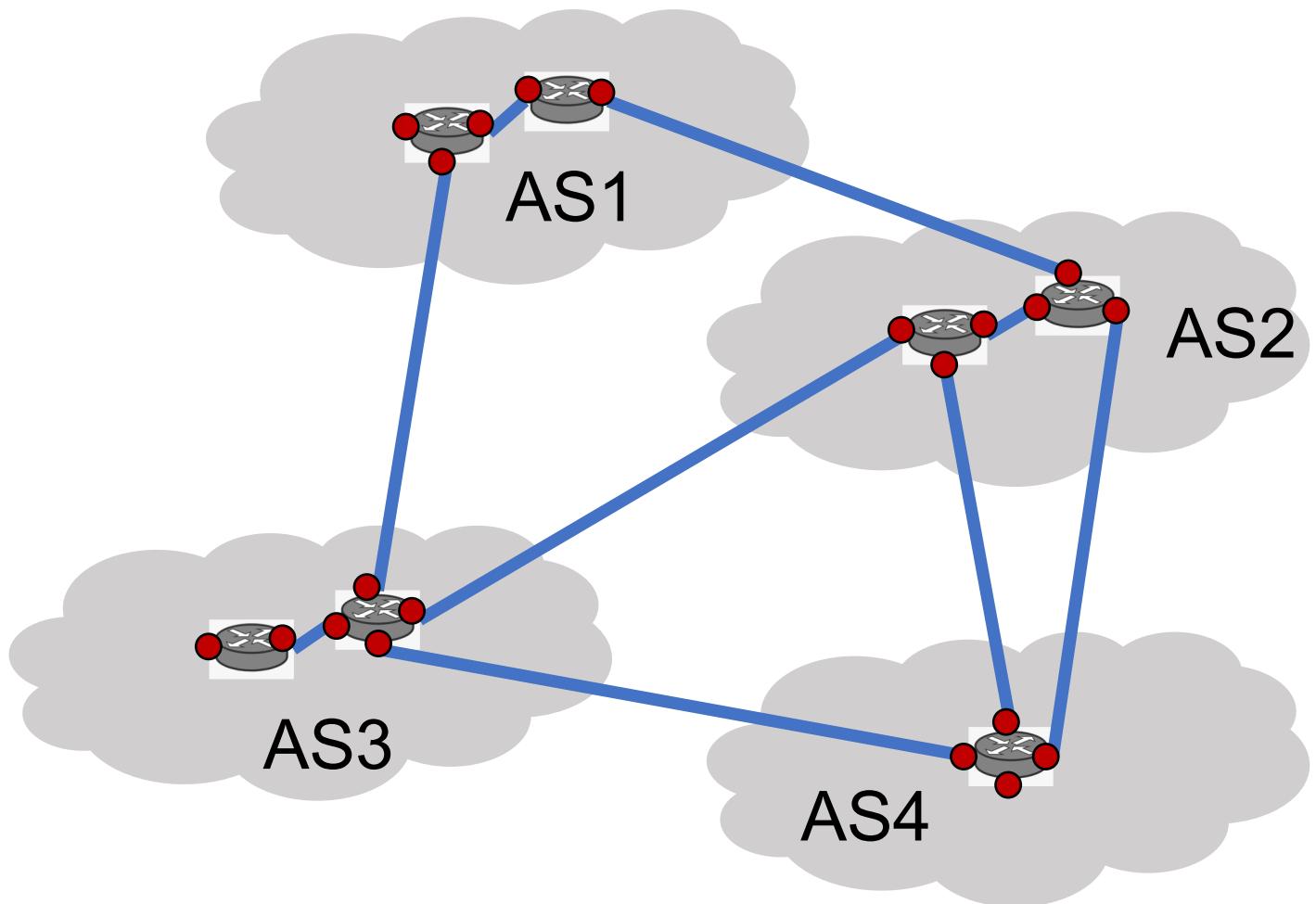
AS1

AS2

AS3

AS4



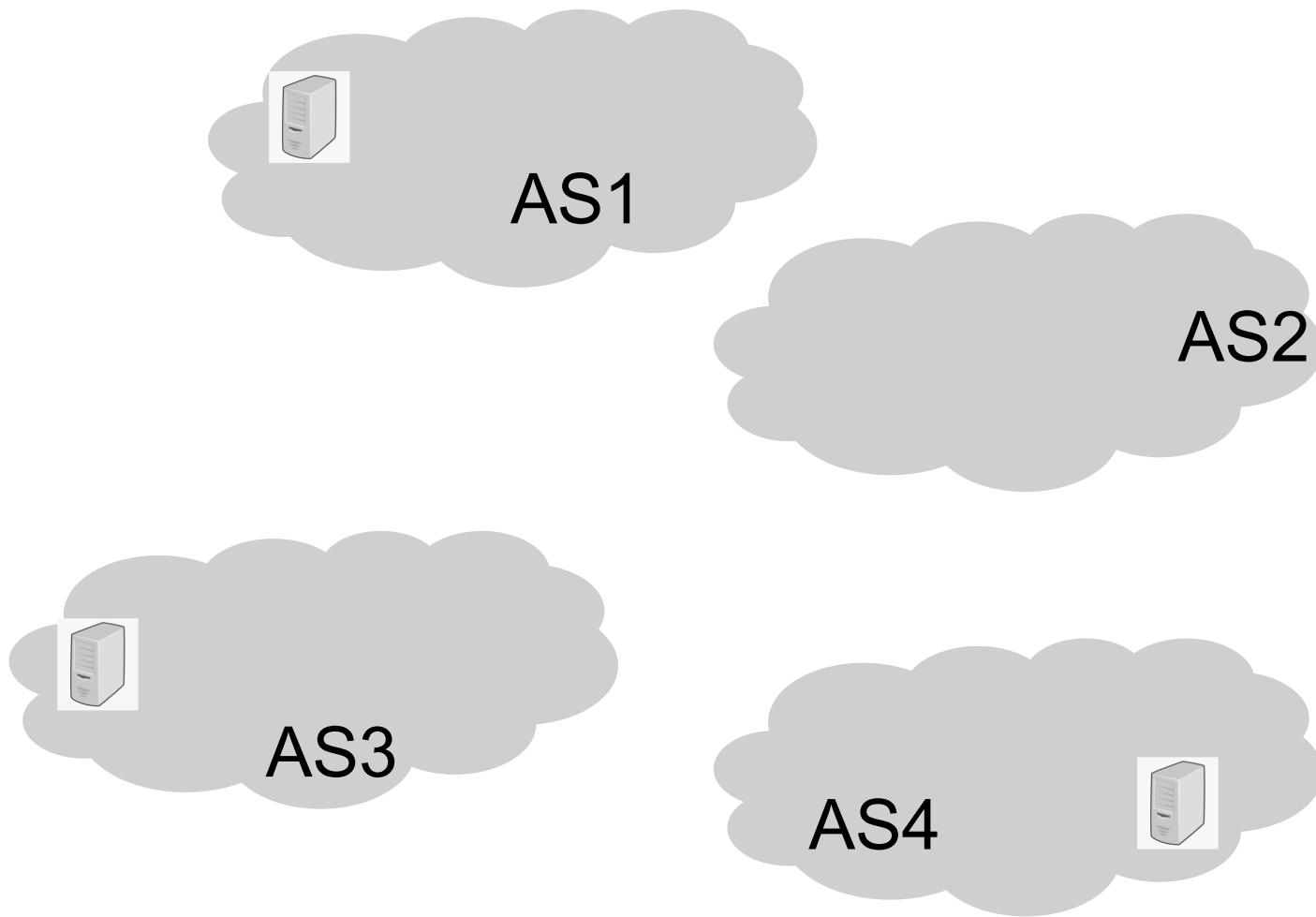


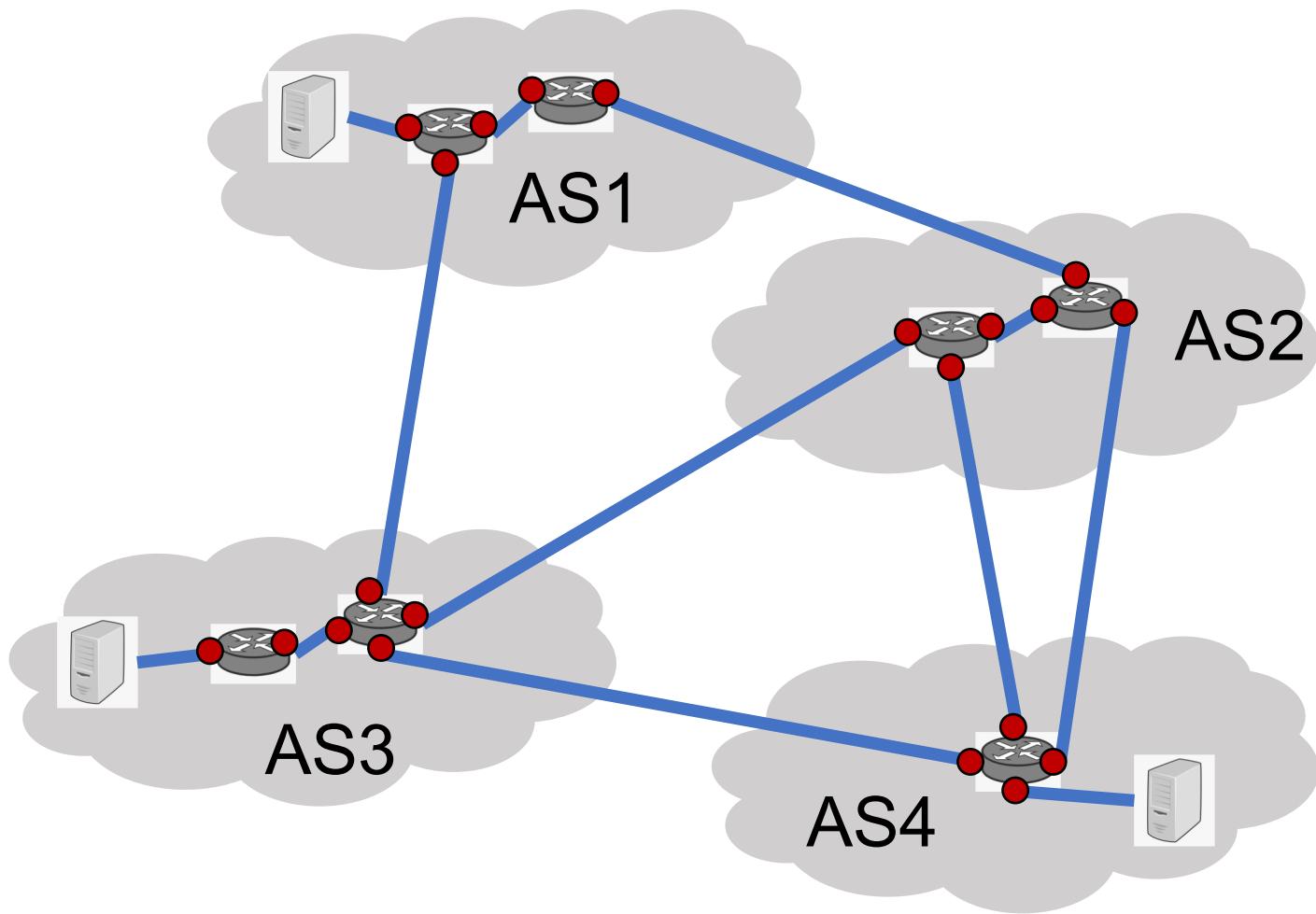
AS1

AS2

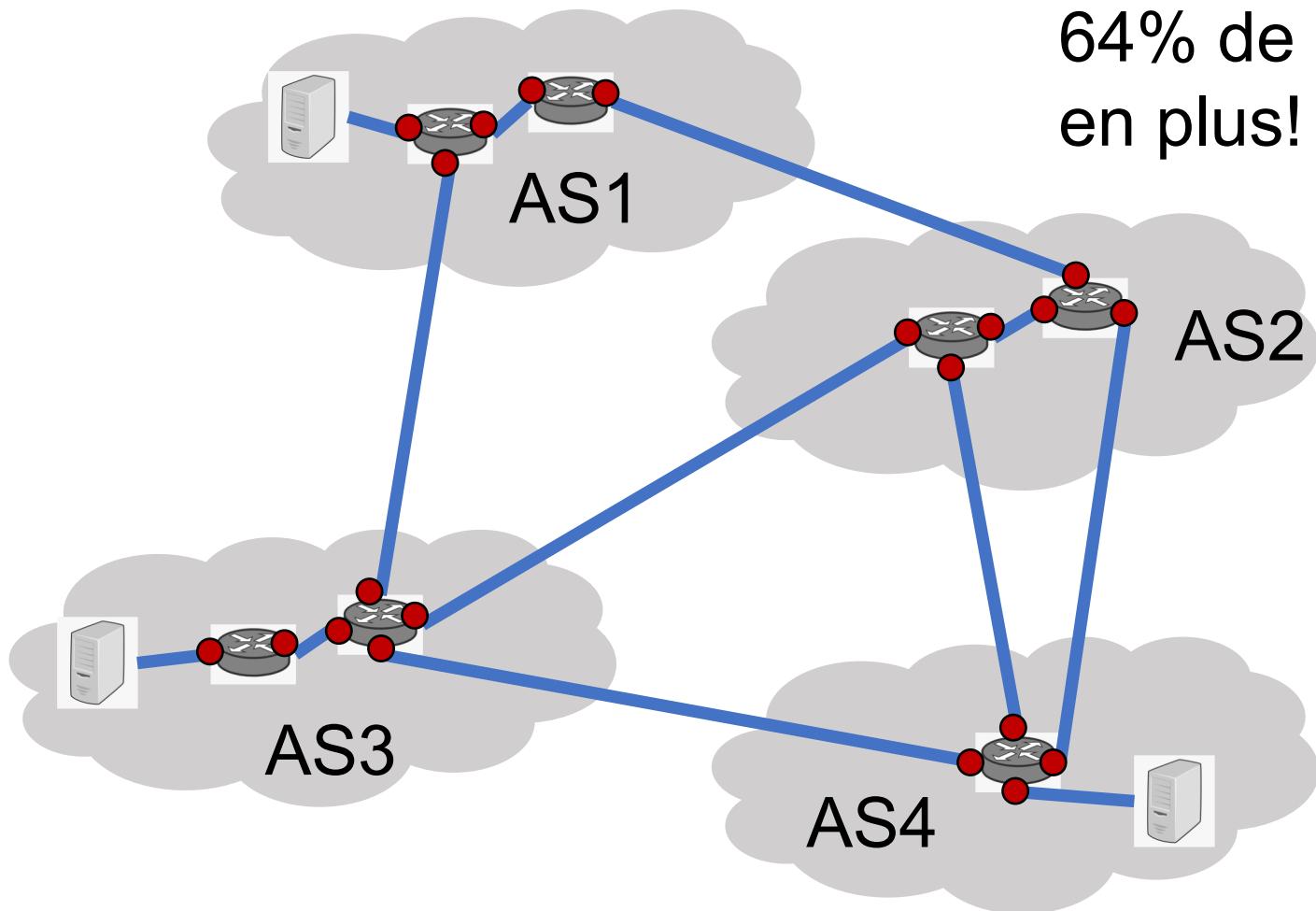
AS3

AS4



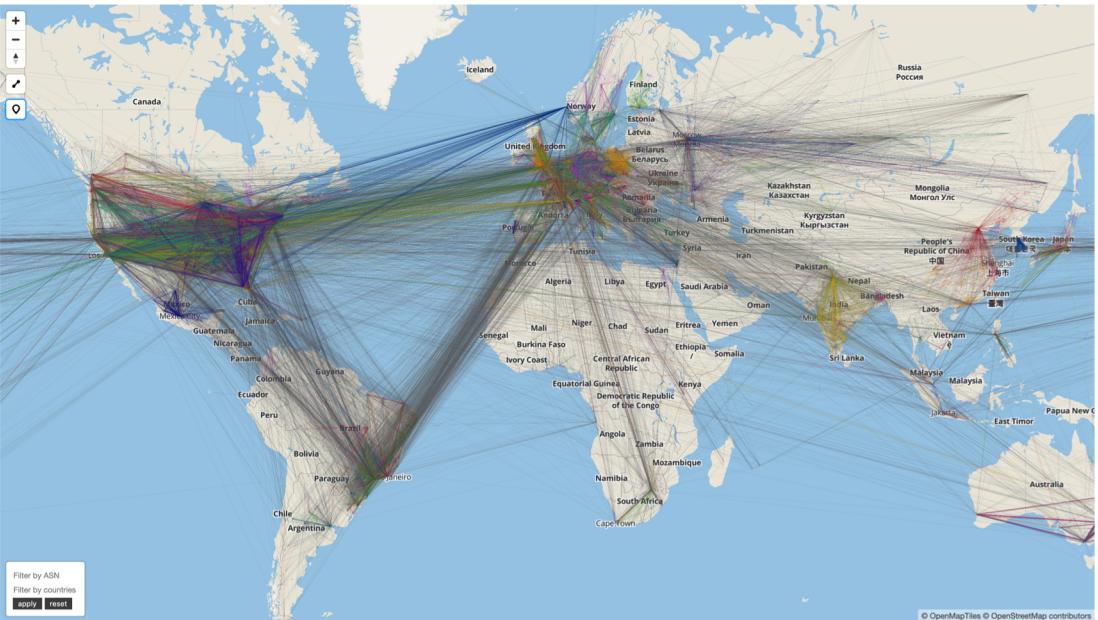


64% de liens  
en plus!



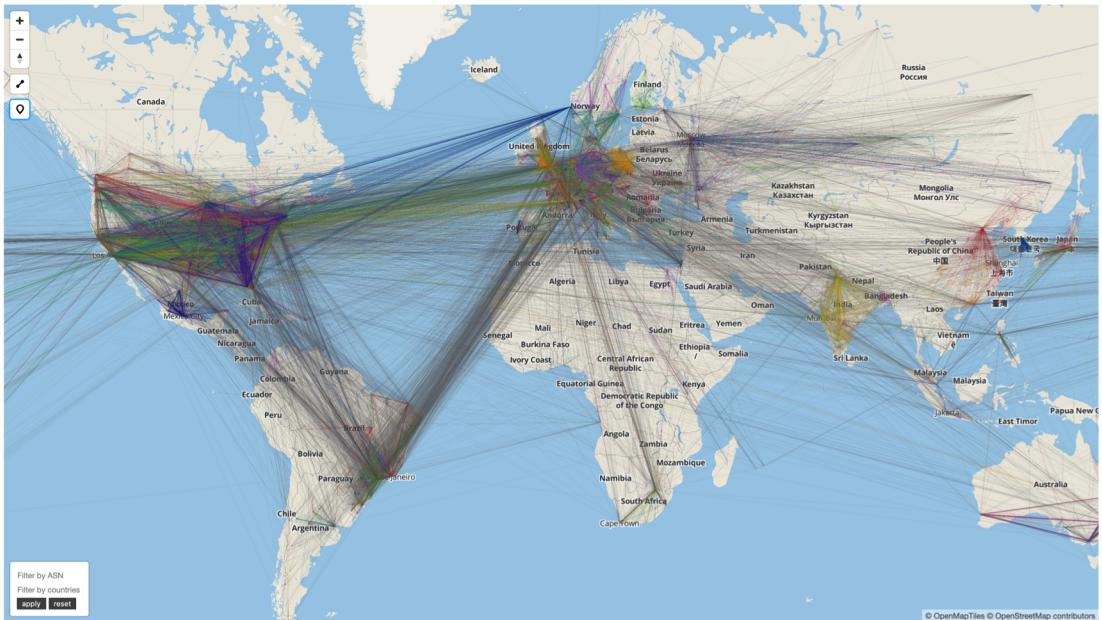
# Motivation

# Motivation



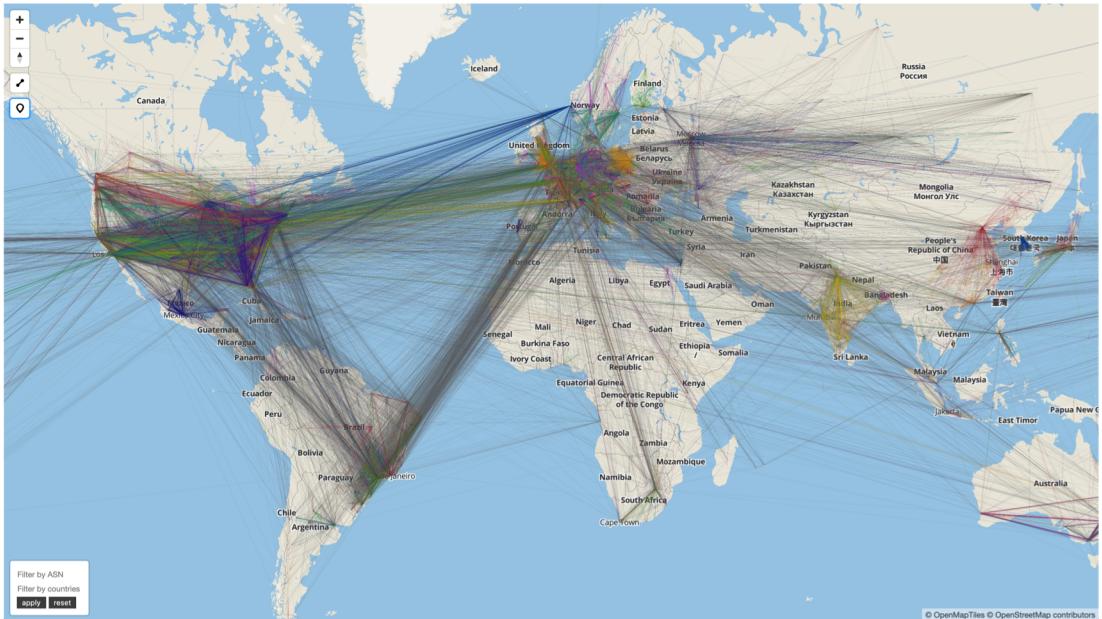
# Motivation

- Cybersecurité



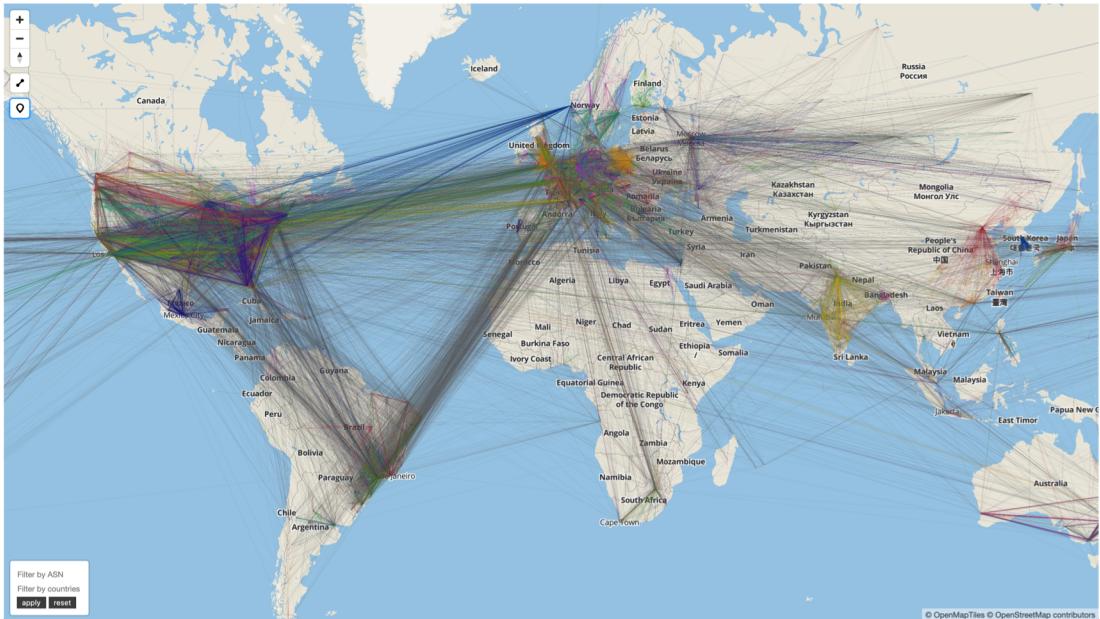
# Motivation

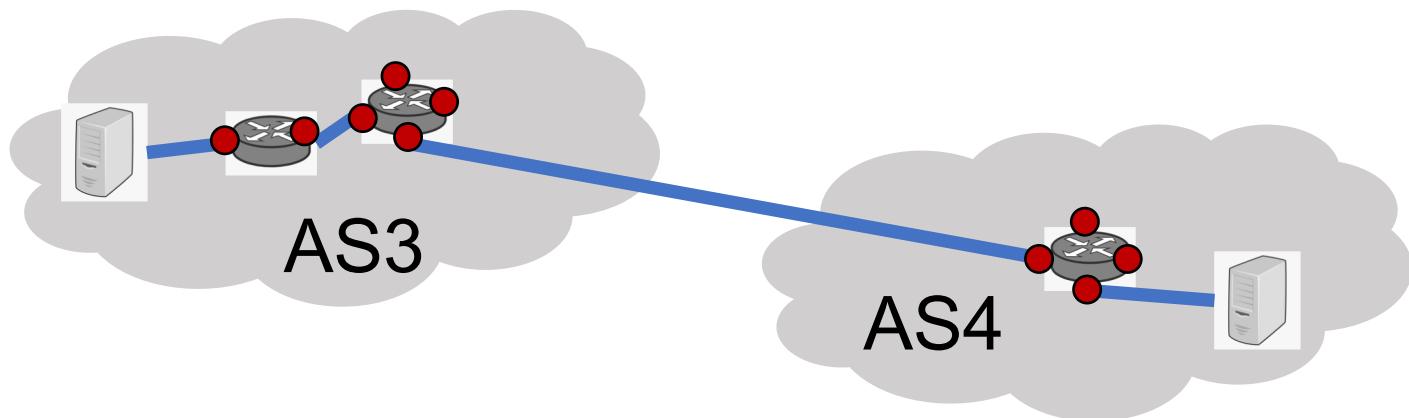
- Cybersecurité
- Performance



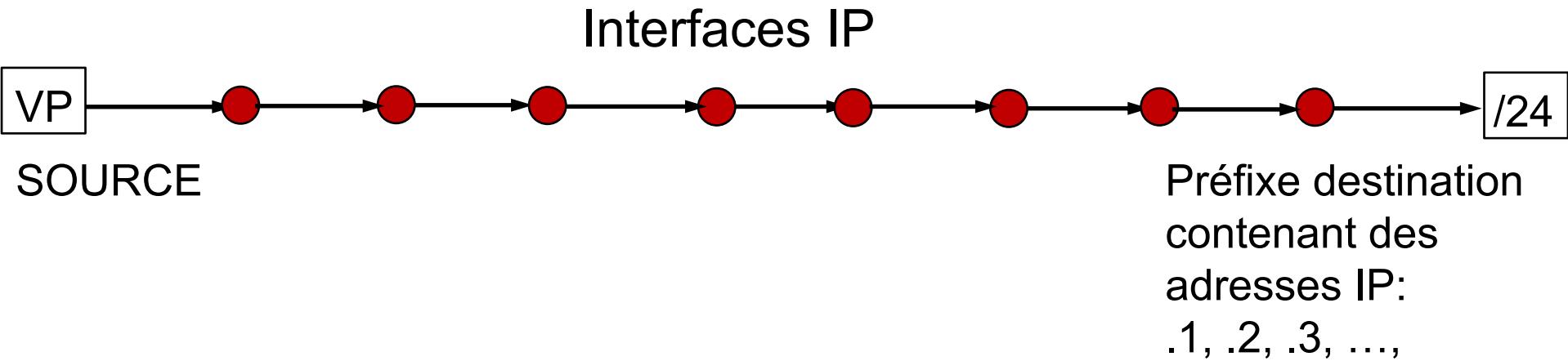
# Motivation

- Cybersecurité
  - Performance
  - Résilience

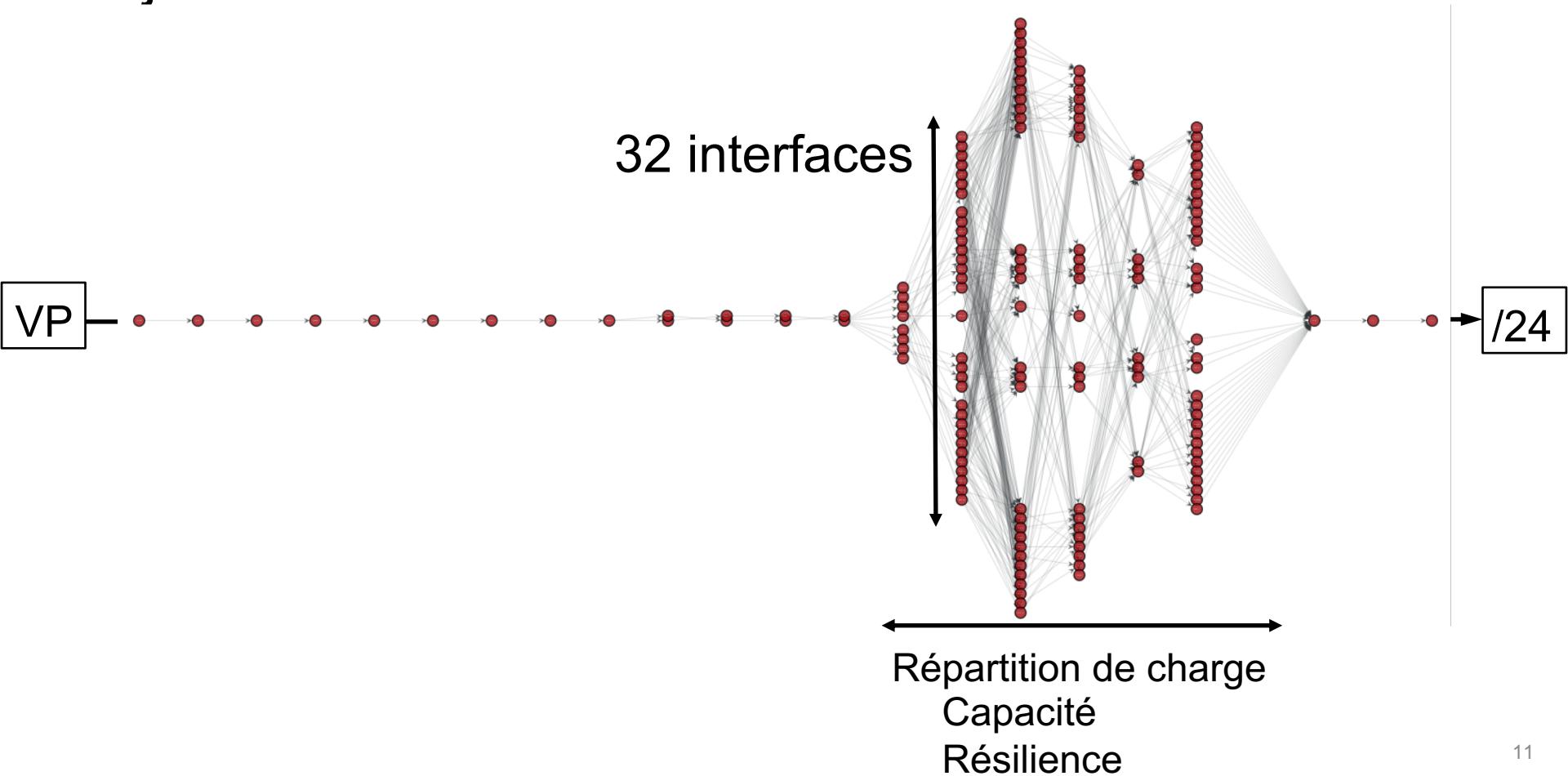




# Il y a 20 ans



# Aujourd'hui



# Temps pour capturer une topologie source/destination au niveau IP

- Il y a 20 ans: secondes
- Aujourd’hui: (jusque des) dizaines de minutes

# Limitations

- Répartition de charge est prédominante dans Internet
- Aucun système pour capturer les chemins à répartition de charge dans un temps raisonnable

# Sommaire

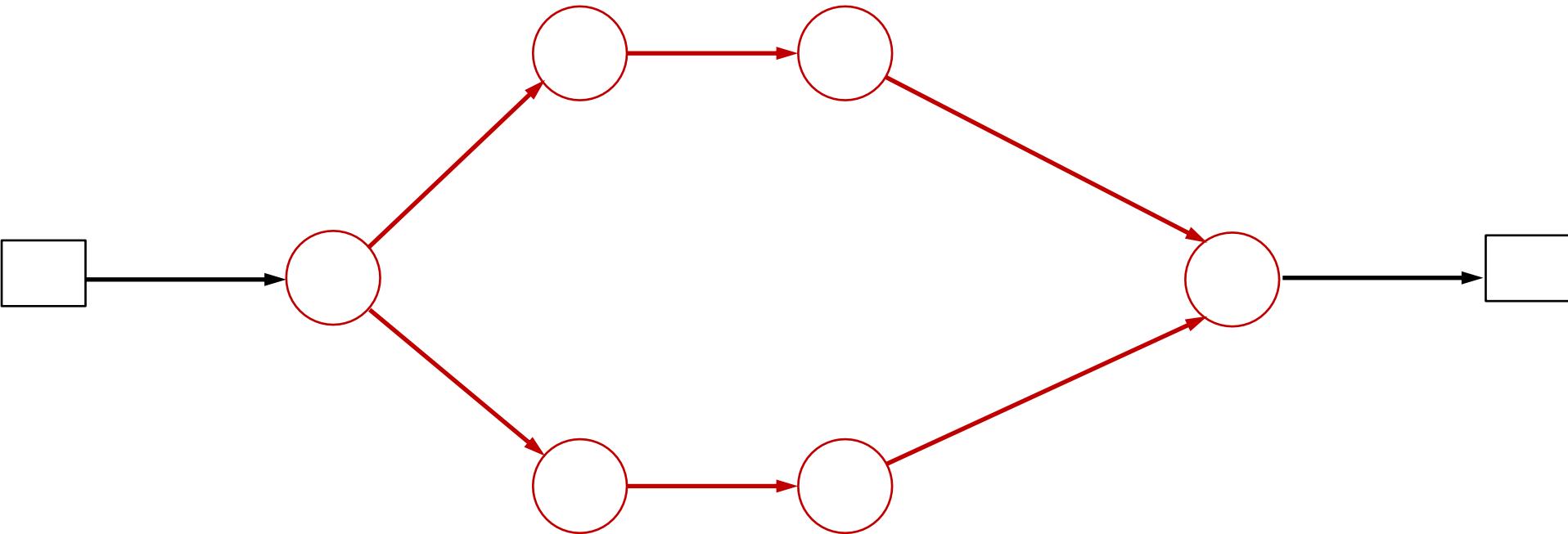
- Curriculum
- Diamond-Miner
- Projet de recherche
- Conclusion

# Diamond-Miner: Comprehensive Discovery of the Internet's Topology Diamonds (Publié à NSDI 2020)

**Kévin Vermeulen**, Justin P. Rohrer, Robert Beverly,  
Olivier Fourmaux, Timur Friedman



Naval Postgraduate School,  
Monterey, Californie

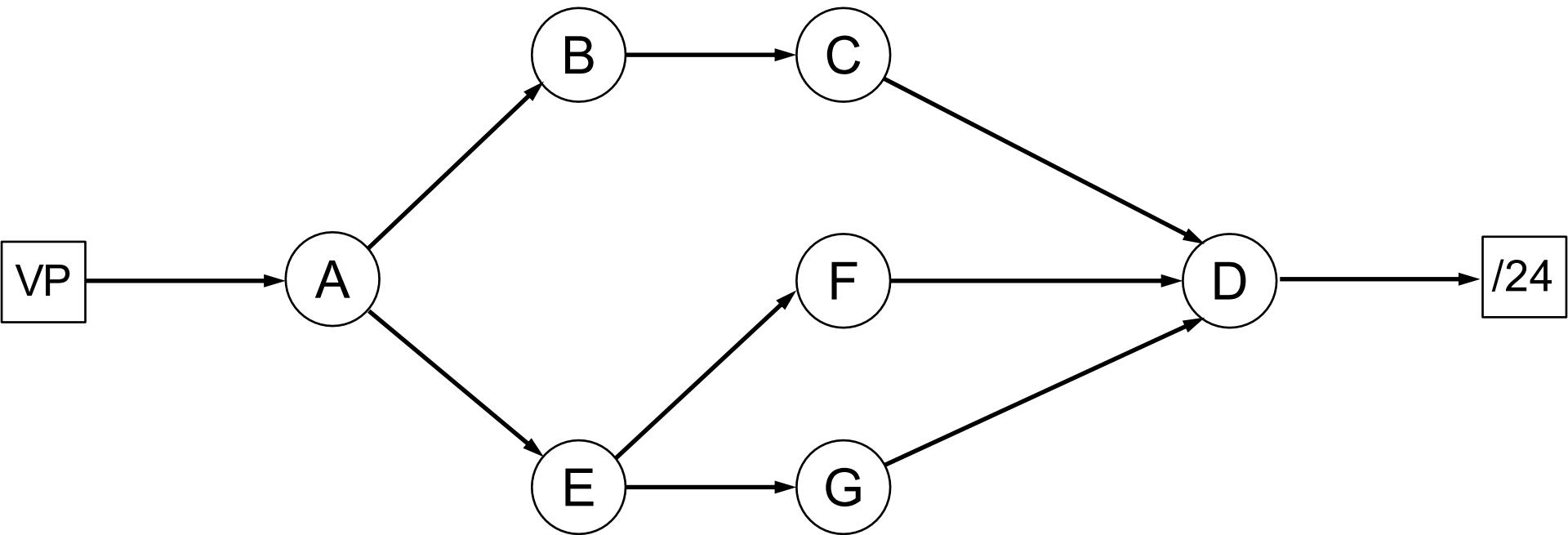


Diamant

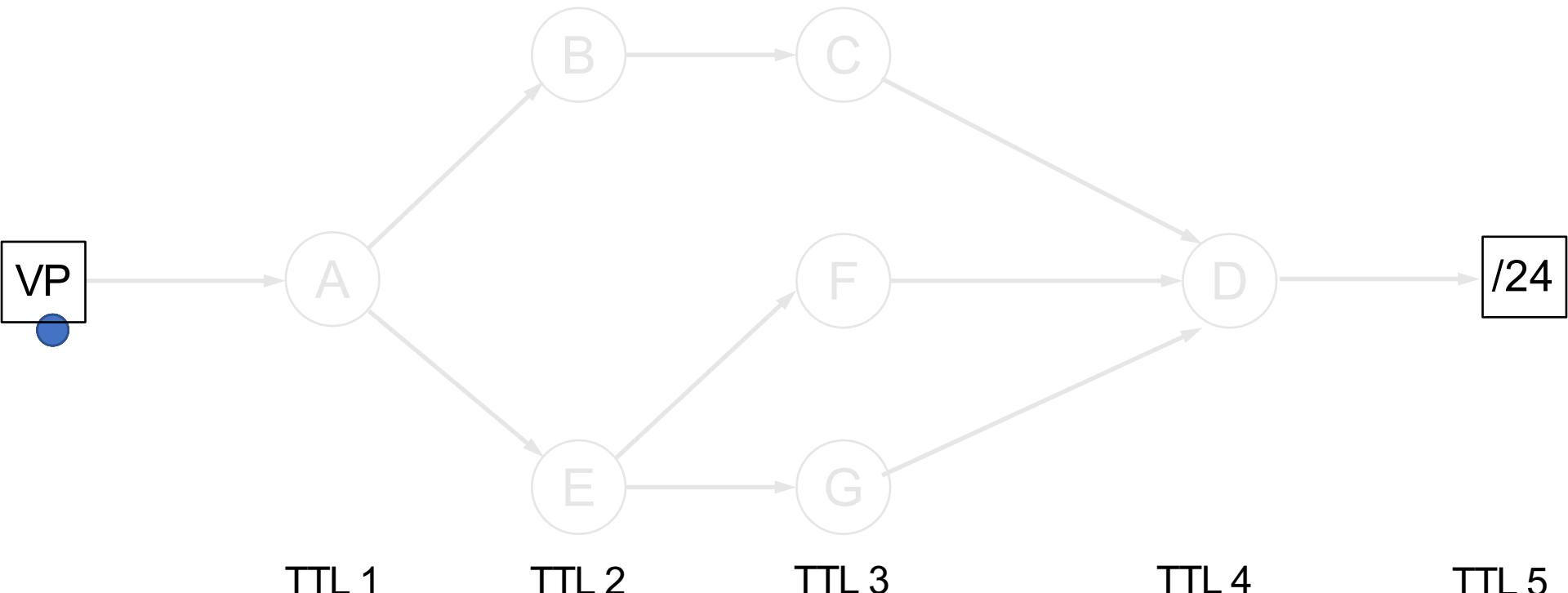
# Cartographier les diamants

- Sondage monochemin: traceroute, Paris Traceroute
- Sondage multichemins: MDA Paris Traceroute

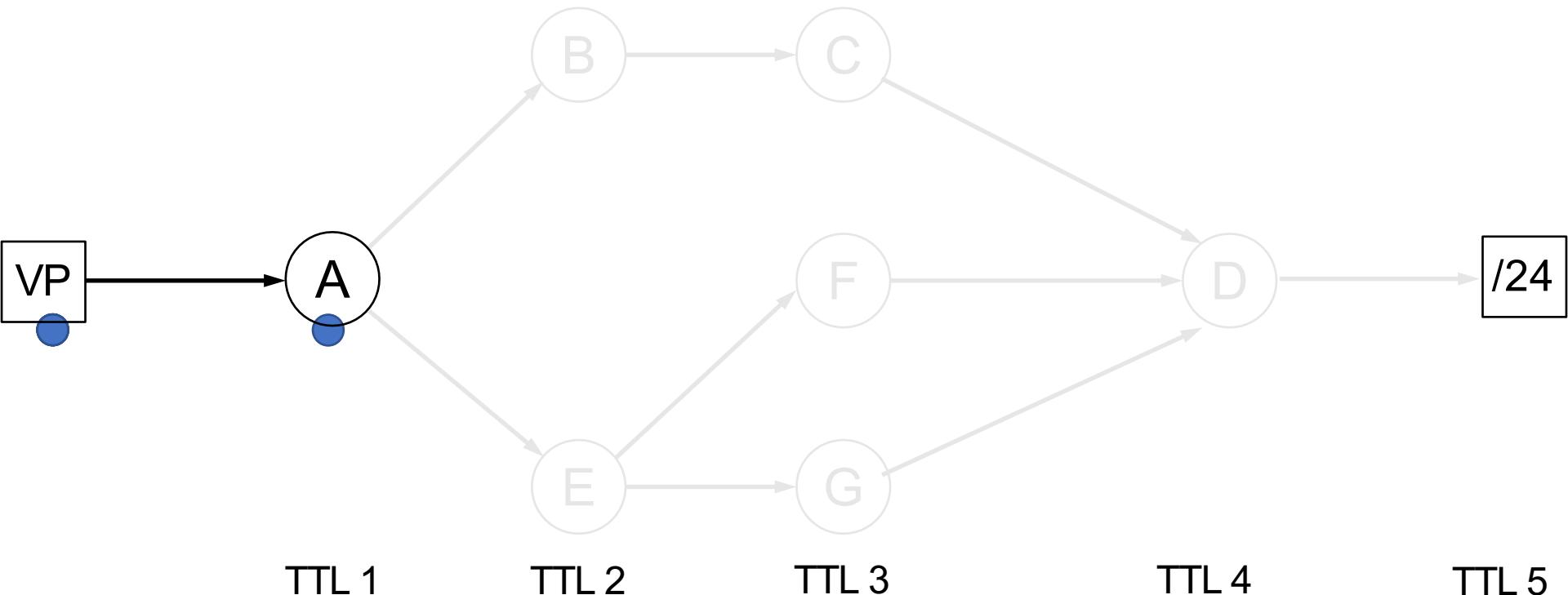
# Topologie exemple



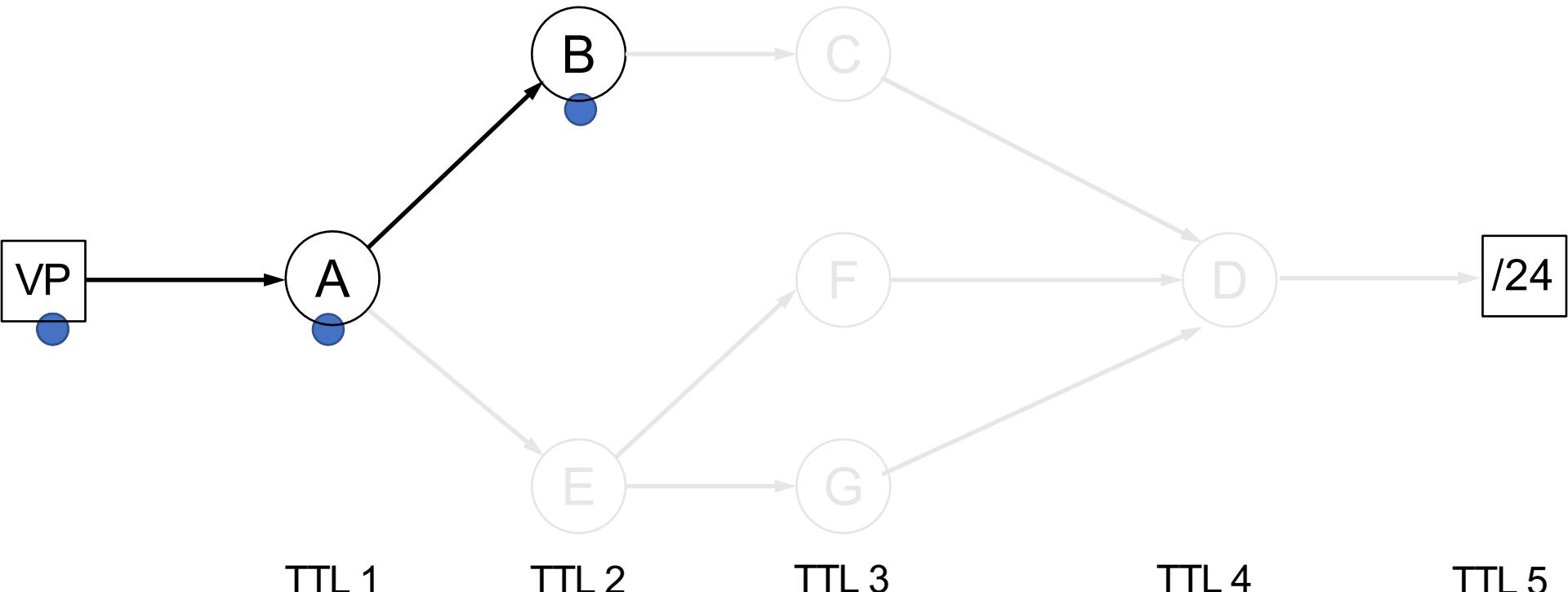
# Sondage monochemin: traceroute, une méthode incomplète



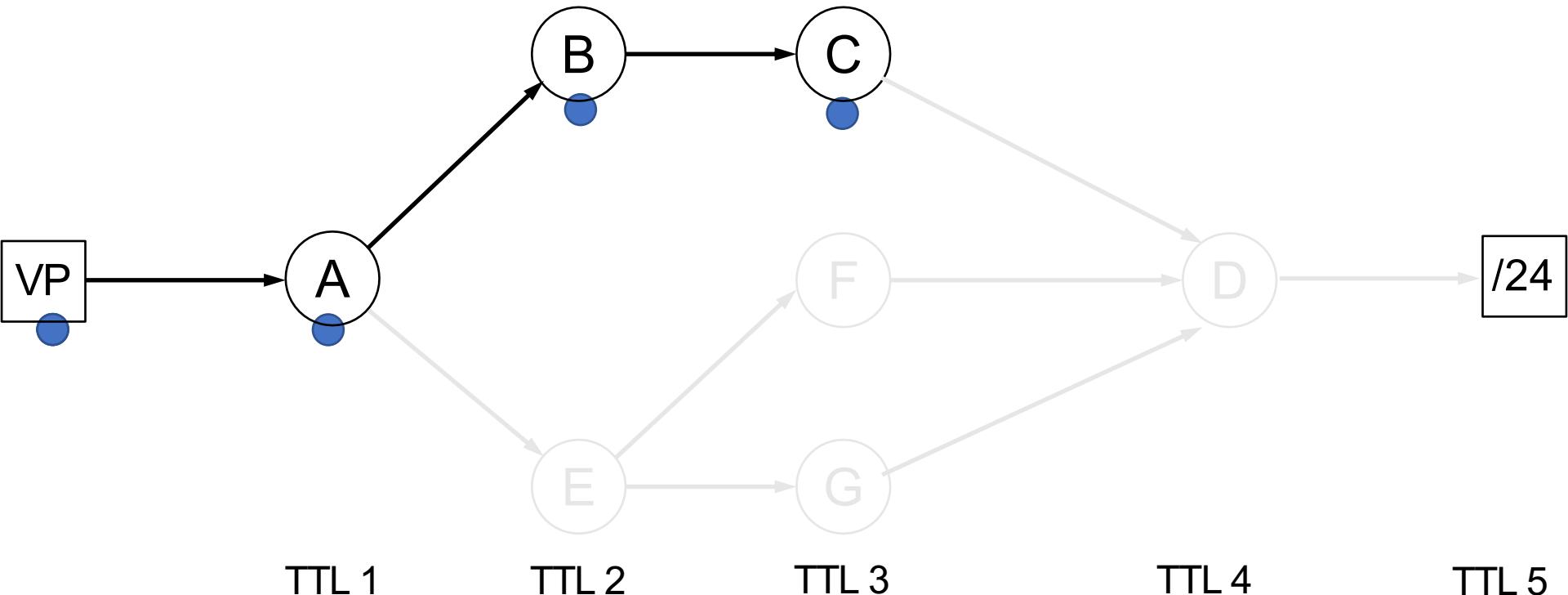
# Sondage monochemin: traceroute, une méthode incomplète



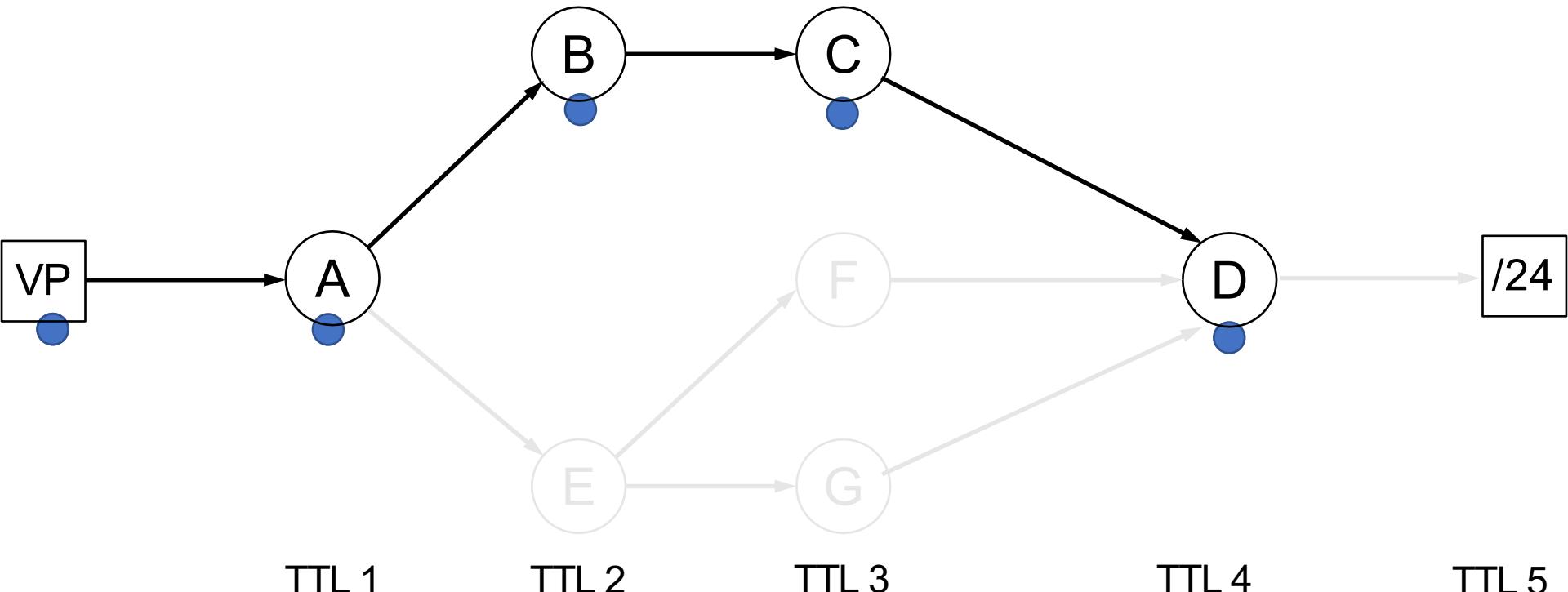
# Sondage monochemin: traceroute, une méthode incomplète



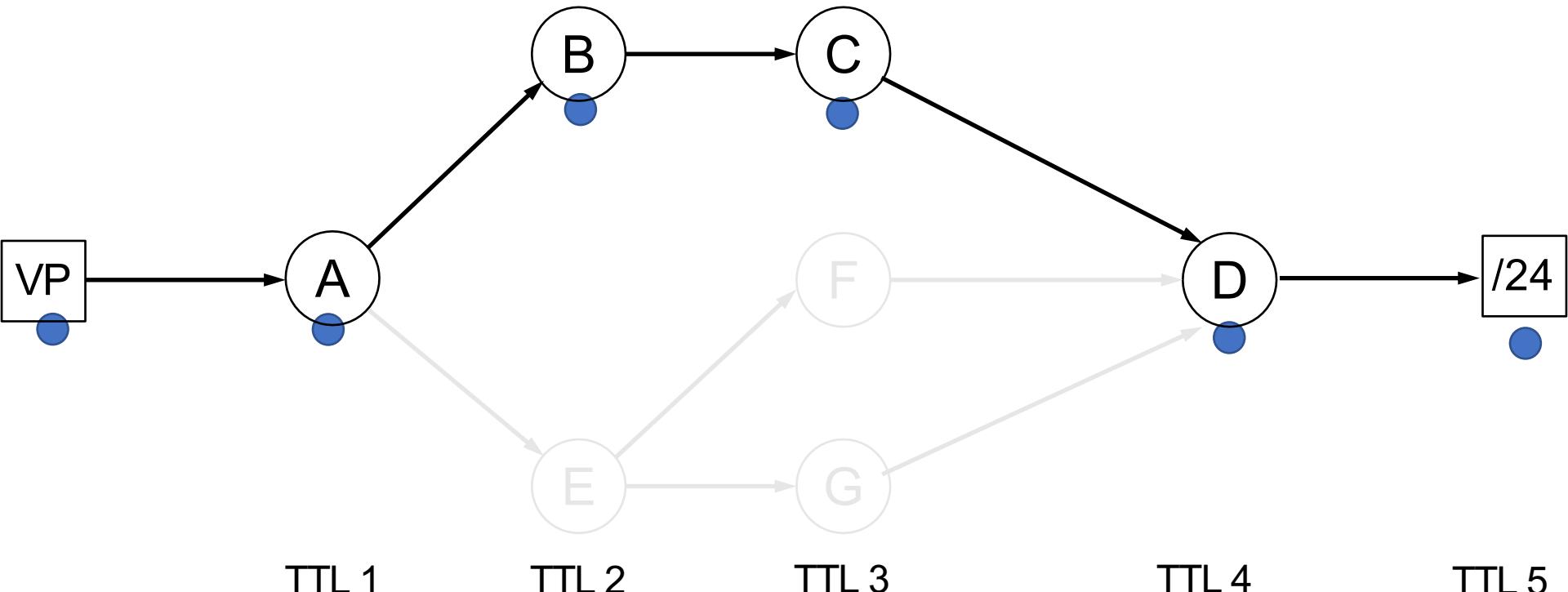
# Sondage monochemin: traceroute, une méthode incomplète



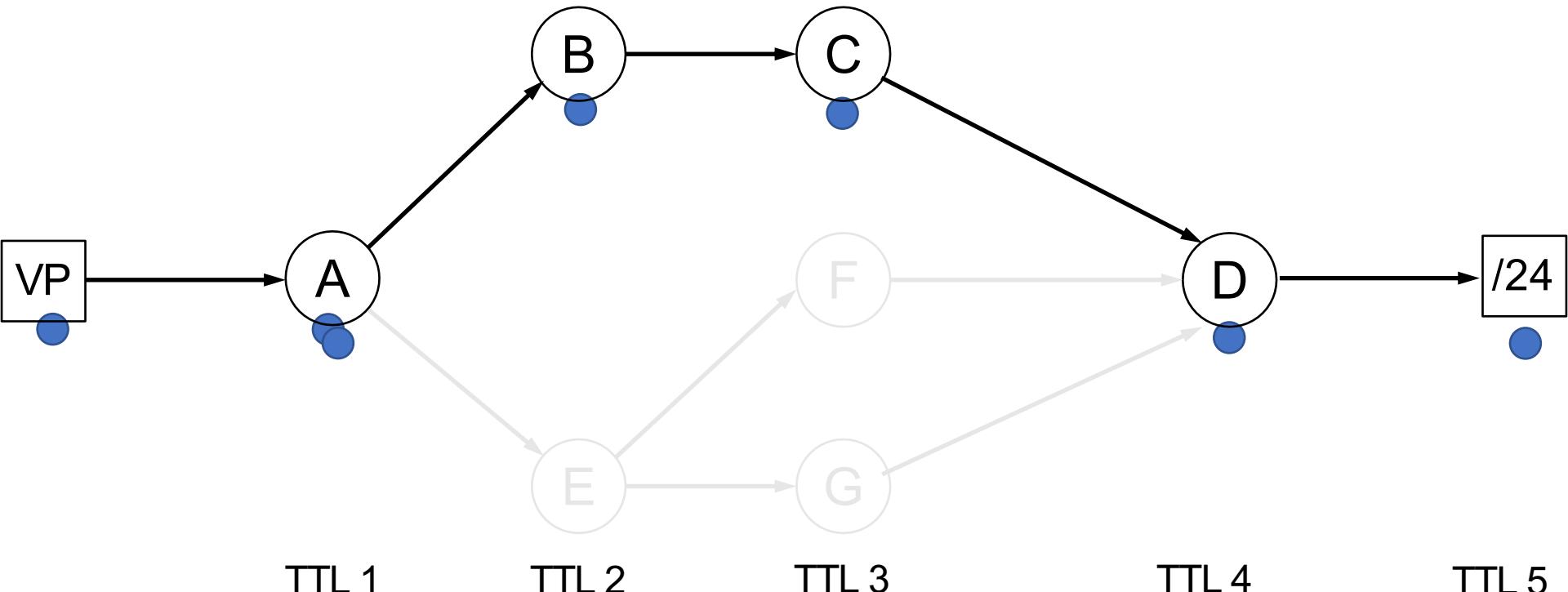
# Sondage monochemin: traceroute, une méthode incomplète



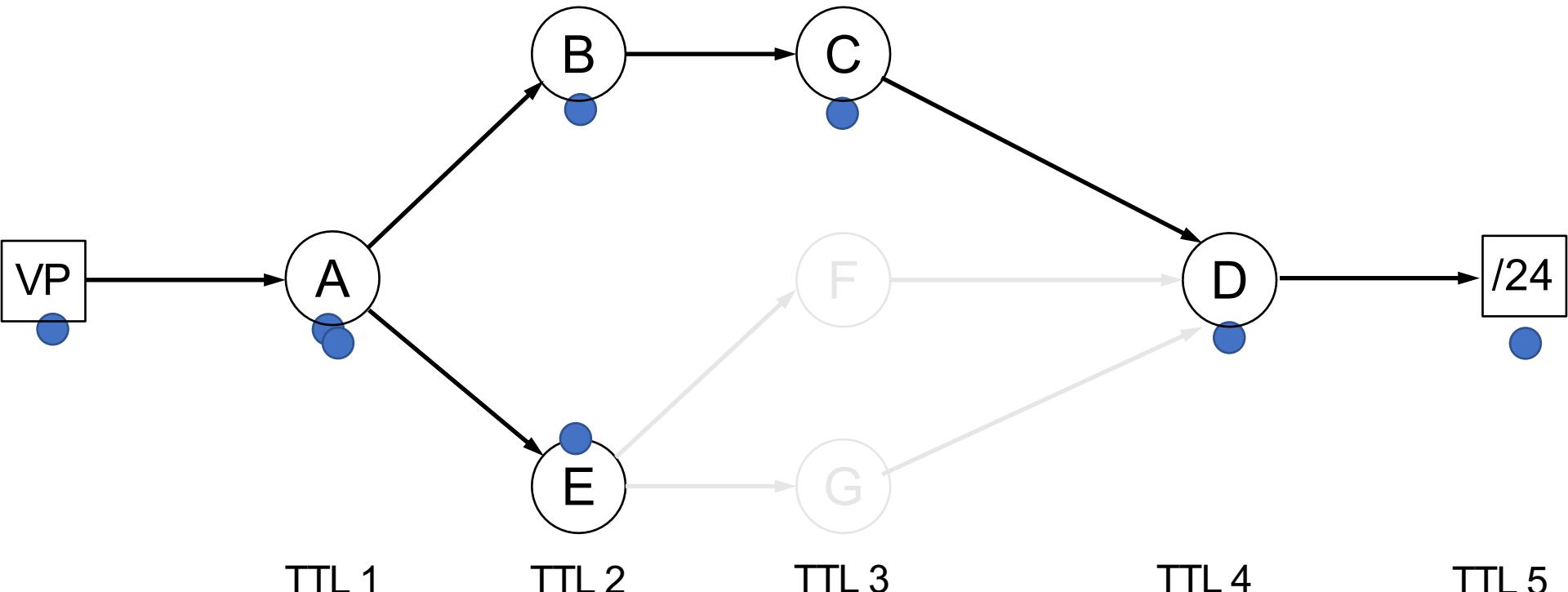
# Sondage monochemin: traceroute, une méthode incomplète



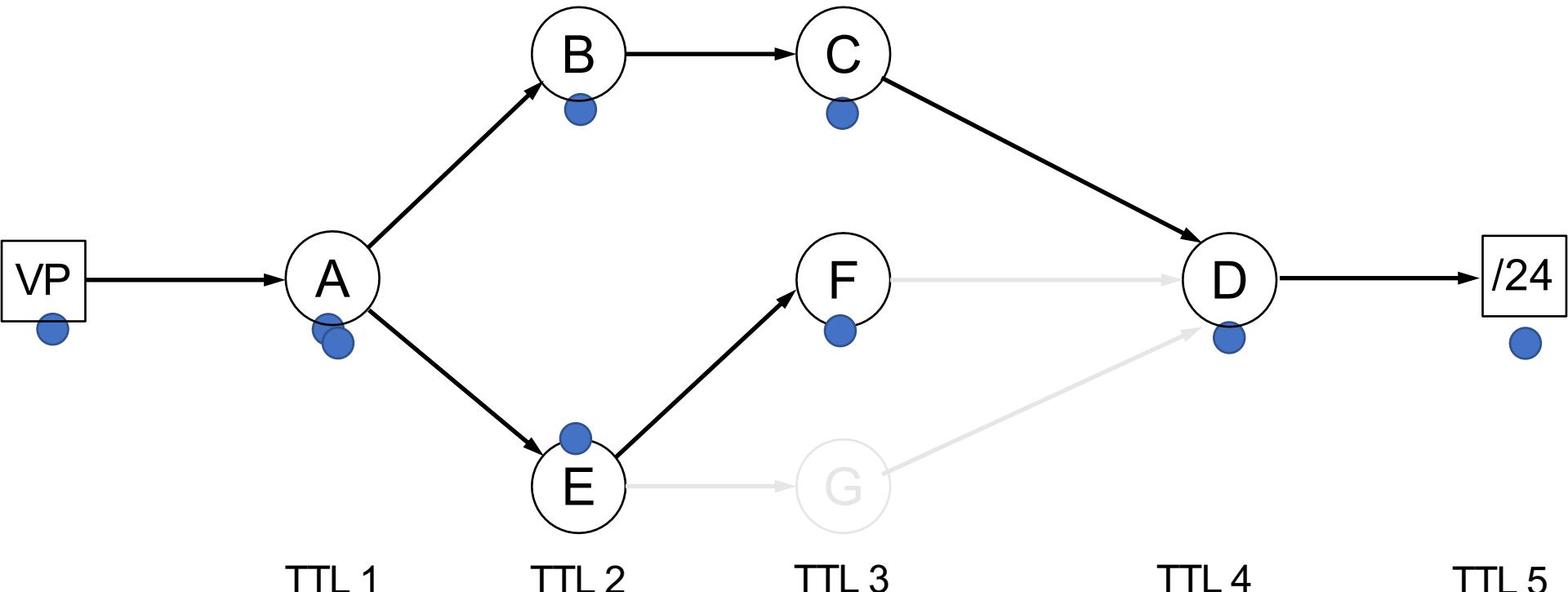
# Sondage monochemin: traceroute, une méthode incomplète



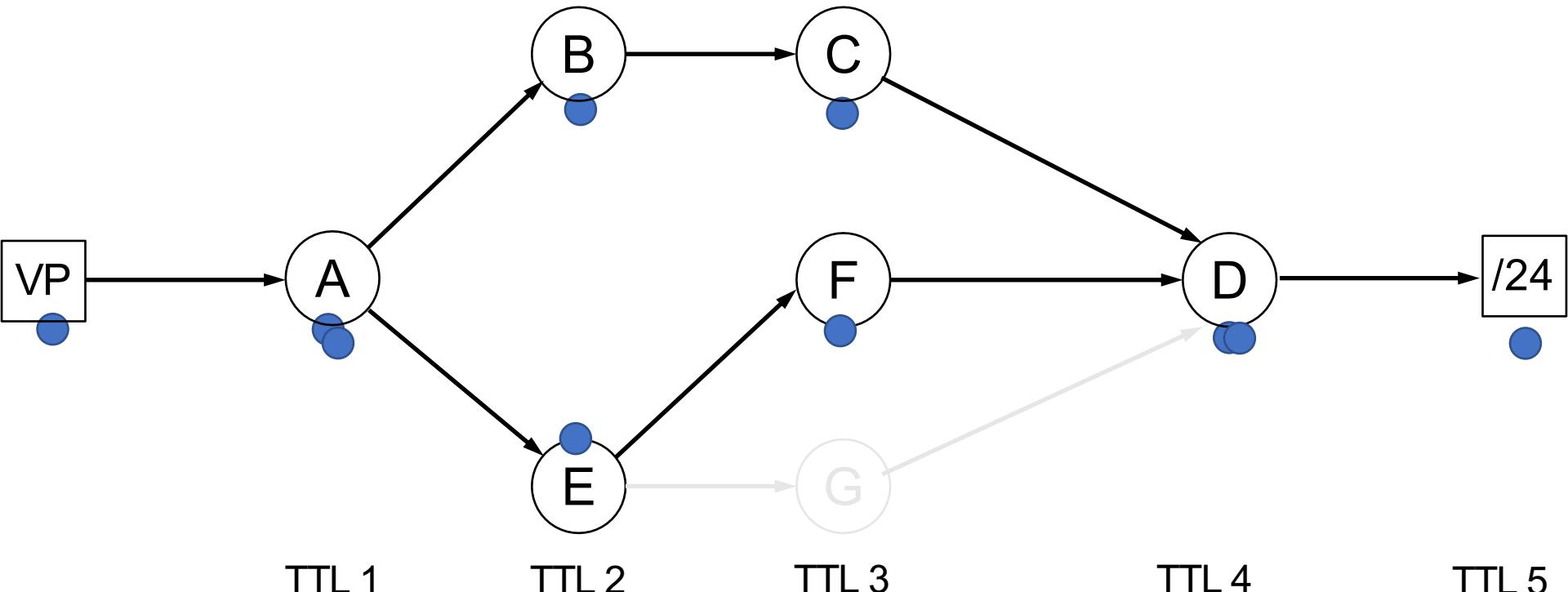
# Sondage monochemin: traceroute, une méthode incomplète



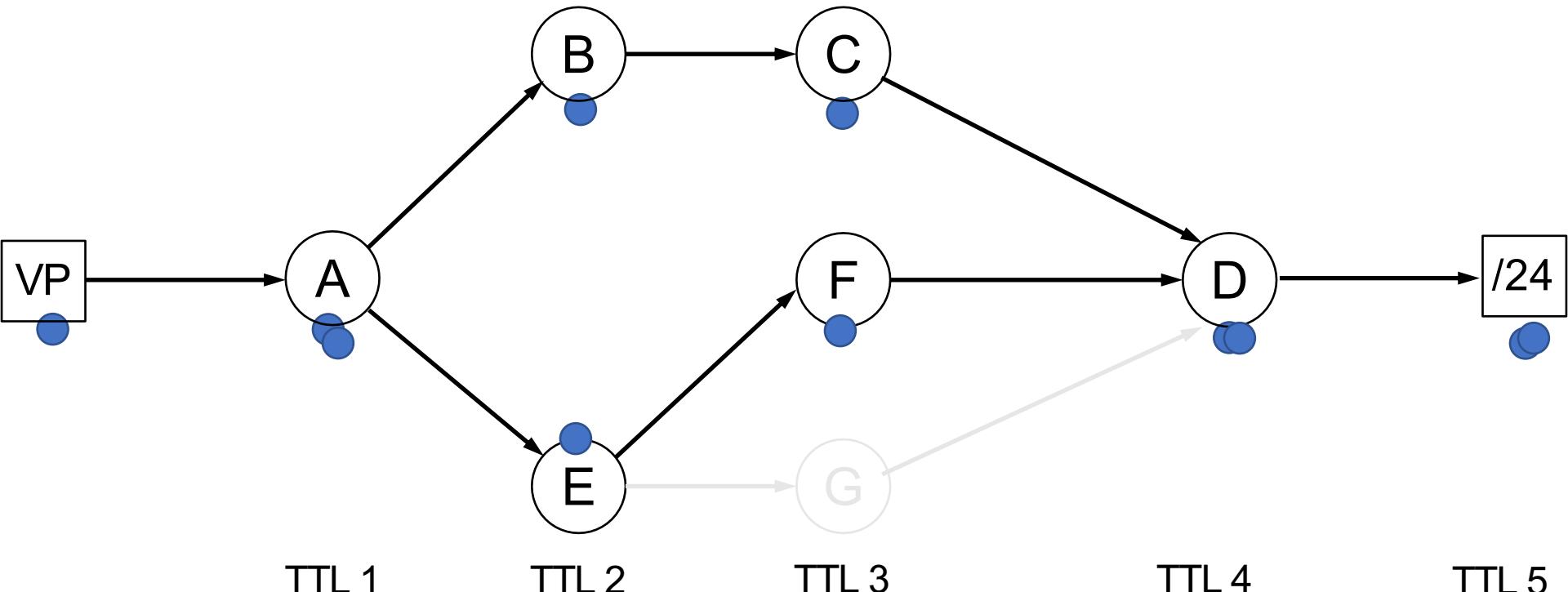
# Sondage monochemin: traceroute, une méthode incomplète



# Sondage monochemin: traceroute, une méthode incomplète



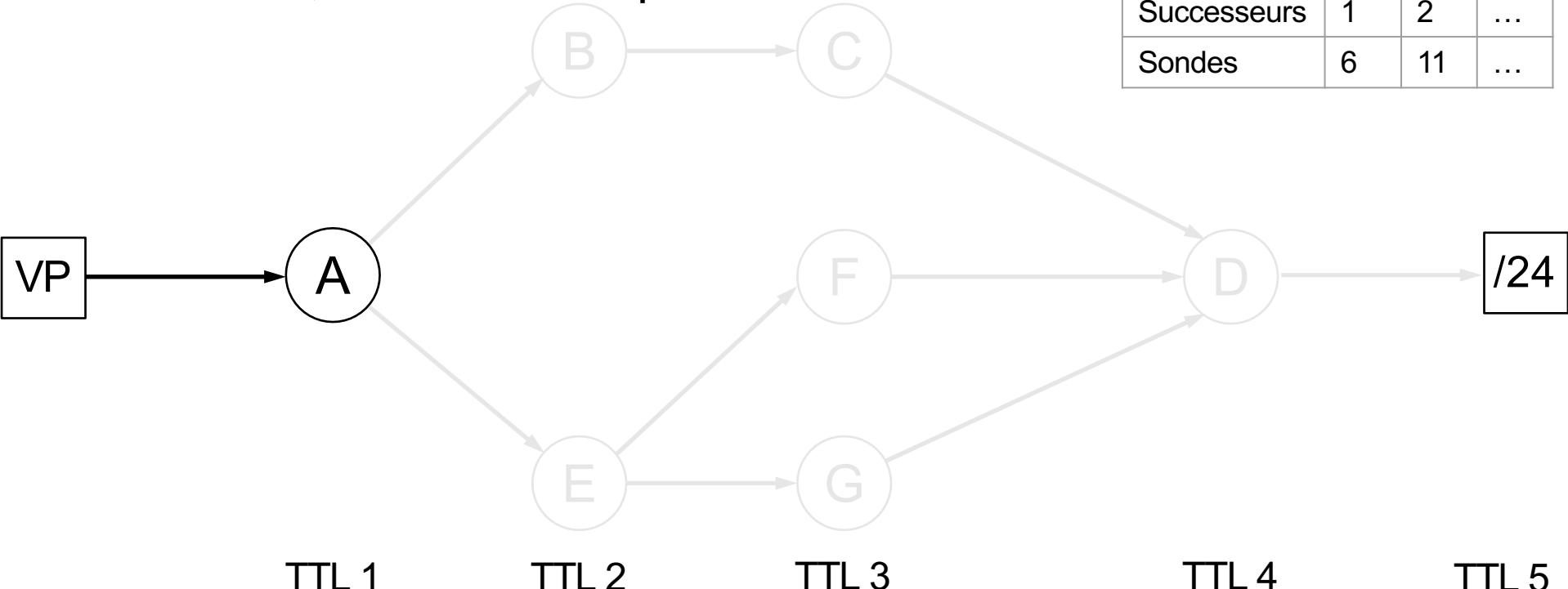
# Sondage monochemin: traceroute, une méthode incomplète



# Sondage multichemins: MDA Paris Traceroute, résolution séquentielle

Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%

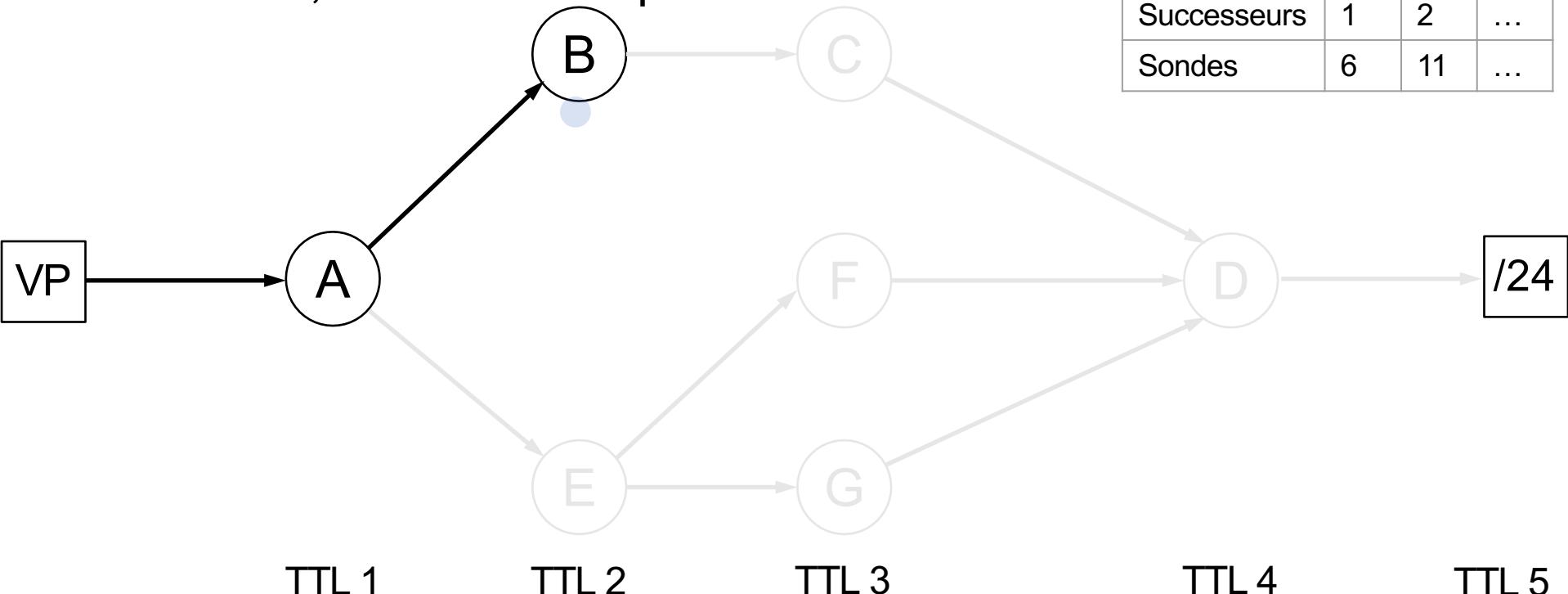
Successseurs	1	2	...
Sondes	6	11	...



# Sondage multichemins: MDA Paris Traceroute, résolution séquentielle

Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%

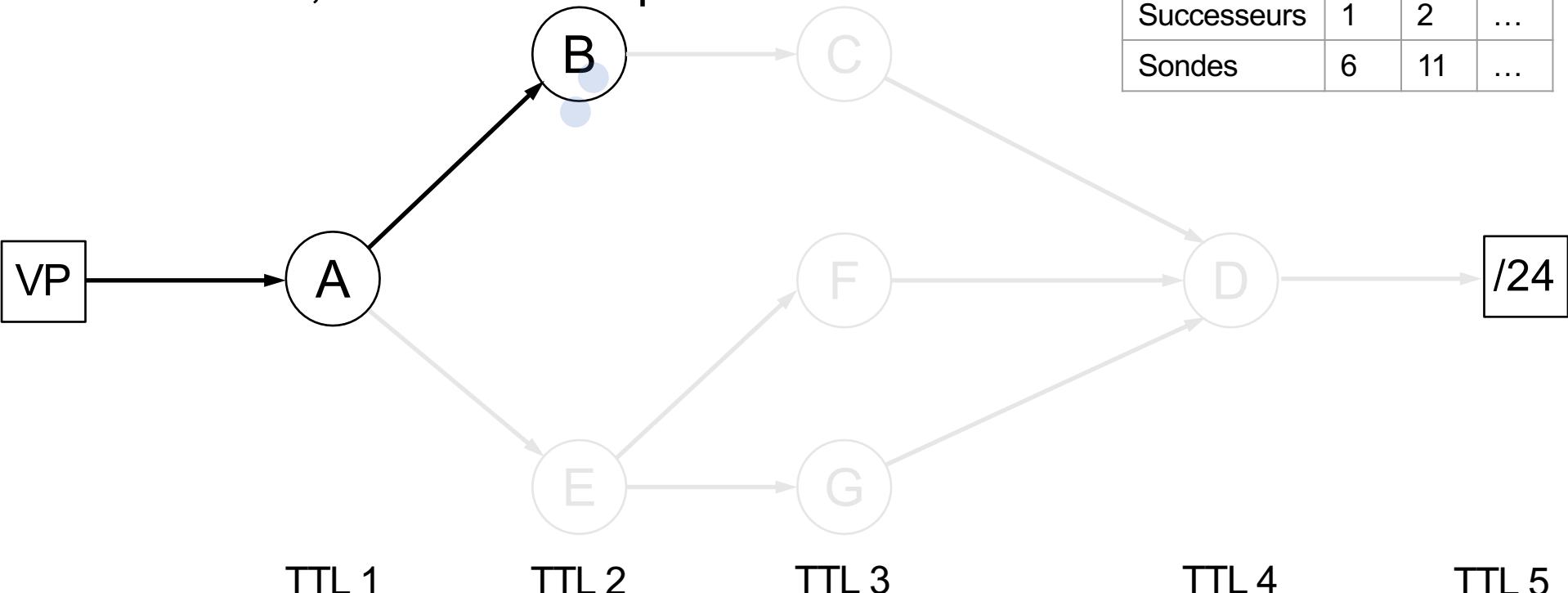
Successseurs	1	2	...
Sondes	6	11	...



# Sondage multichemins: MDA Paris Traceroute, résolution séquentielle

Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%

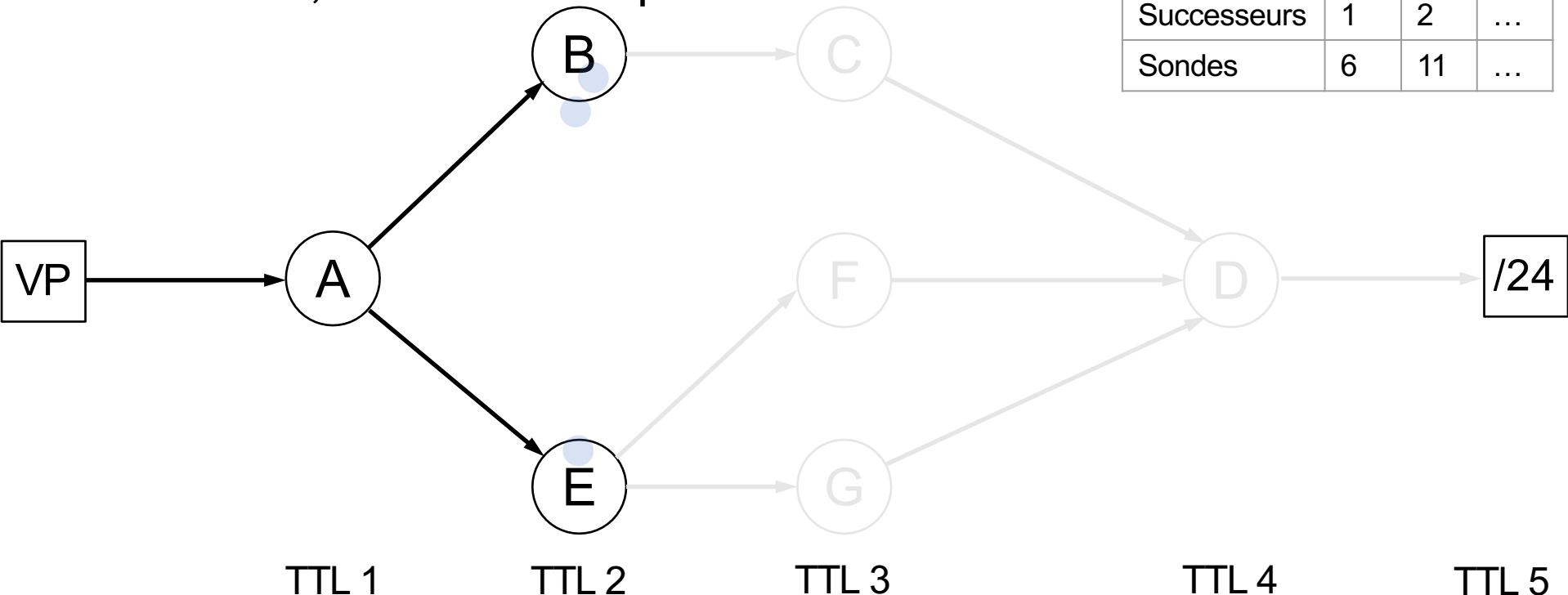
Successseurs	1	2	...
Sondes	6	11	...



# Sondage multichemins: MDA Paris Traceroute, résolution séquentielle

Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%

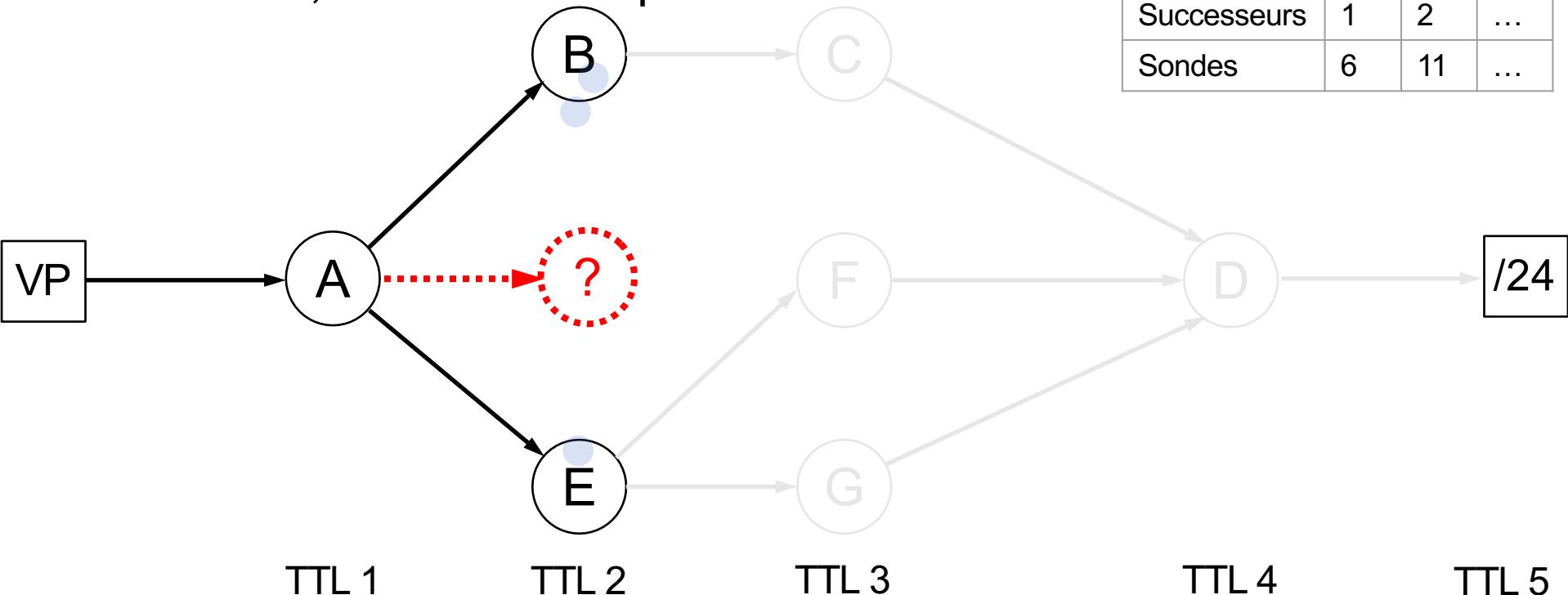
Successseurs	1	2	...
Sondes	6	11	...



# Sondage multichemins: MDA Paris Traceroute, résolution séquentielle

Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%

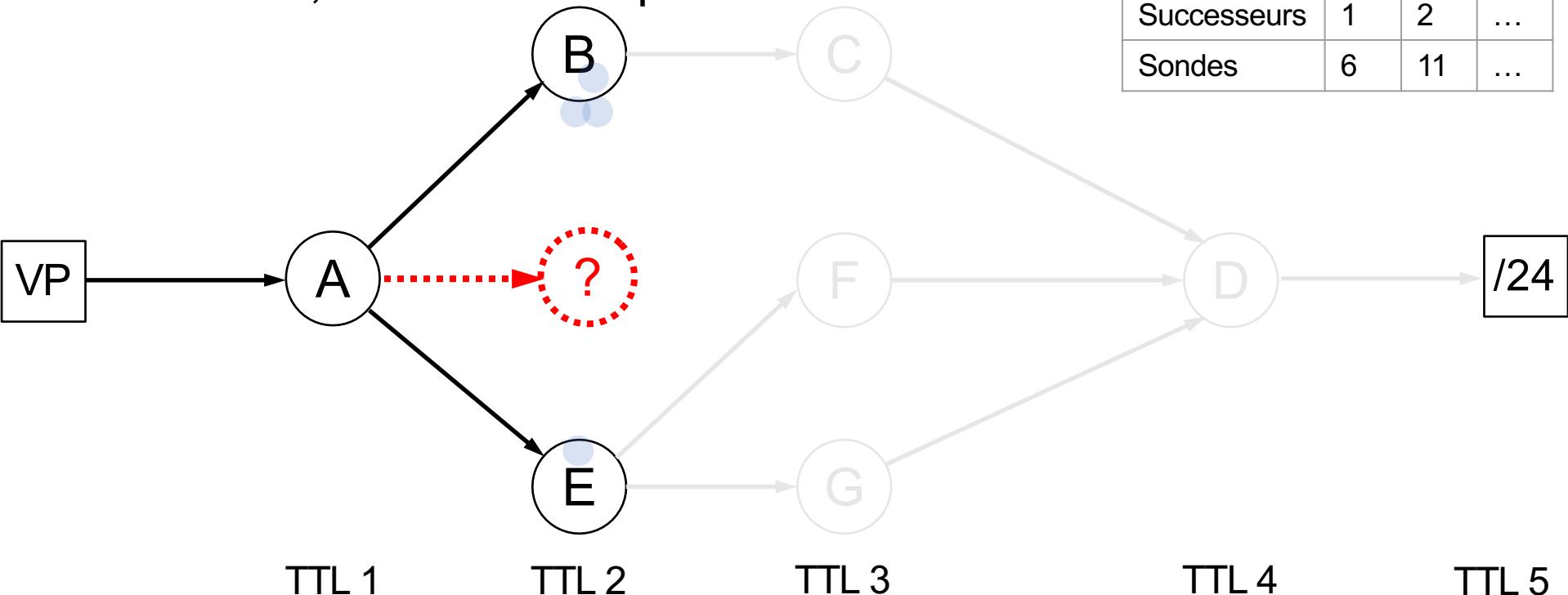
Successseurs	1	2	...
Sondes	6	11	...



# Sondage multichemins: MDA Paris Traceroute, résolution séquentielle

Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%

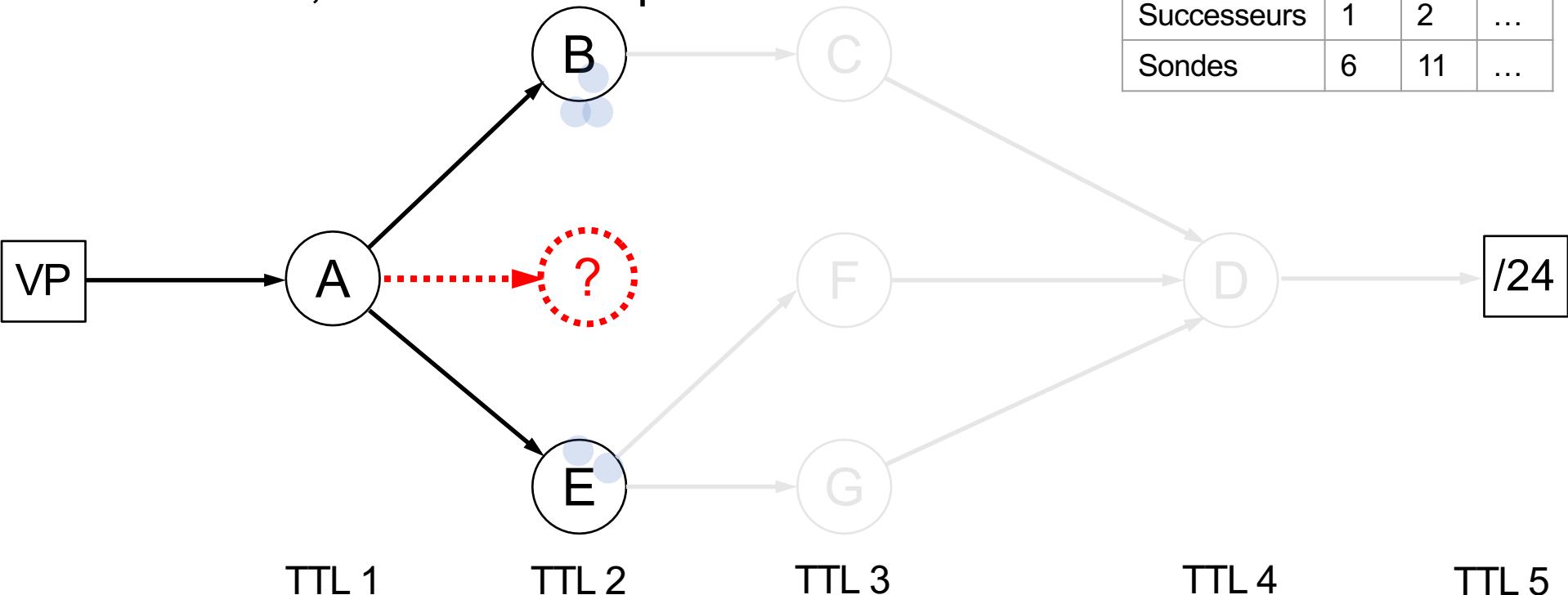
Successseurs	1	2	...
Sondes	6	11	...



# Sondage multichemins: MDA Paris Traceroute, résolution séquentielle

Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%

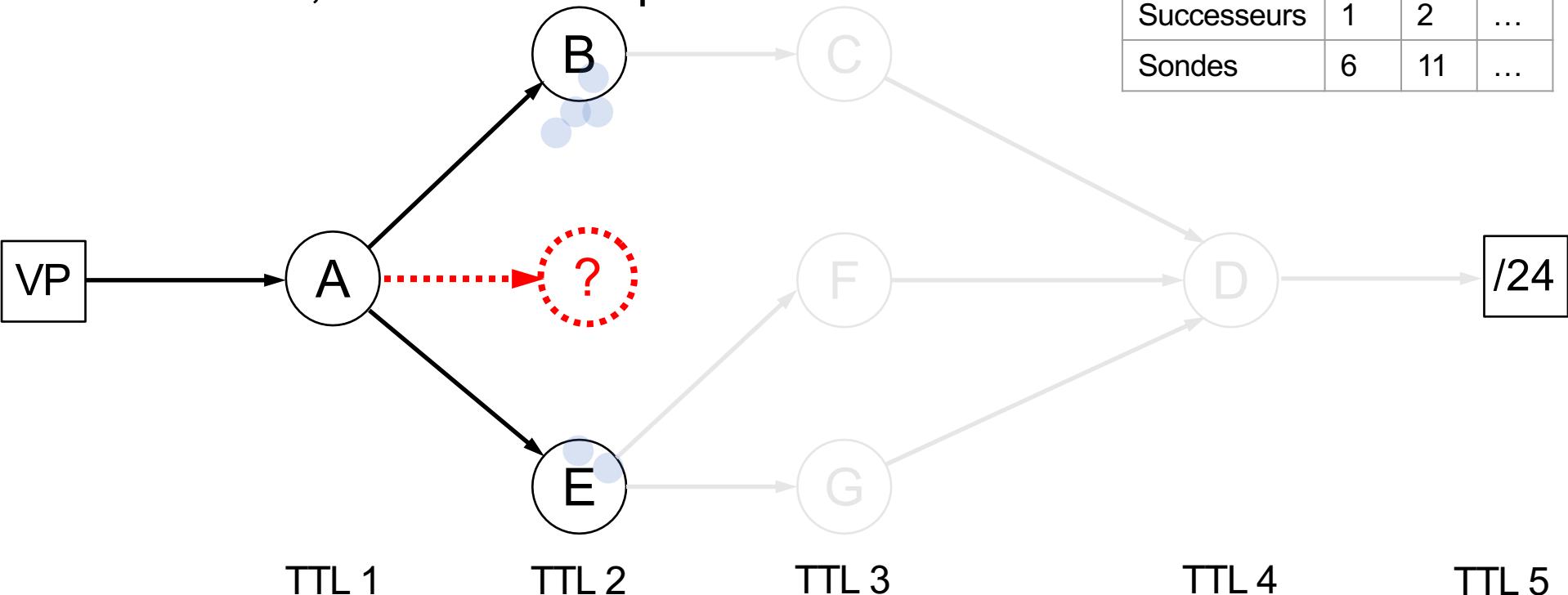
Successseurs	1	2	...
Sondes	6	11	...



# Sondage multichemins: MDA Paris Traceroute, résolution séquentielle

Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%

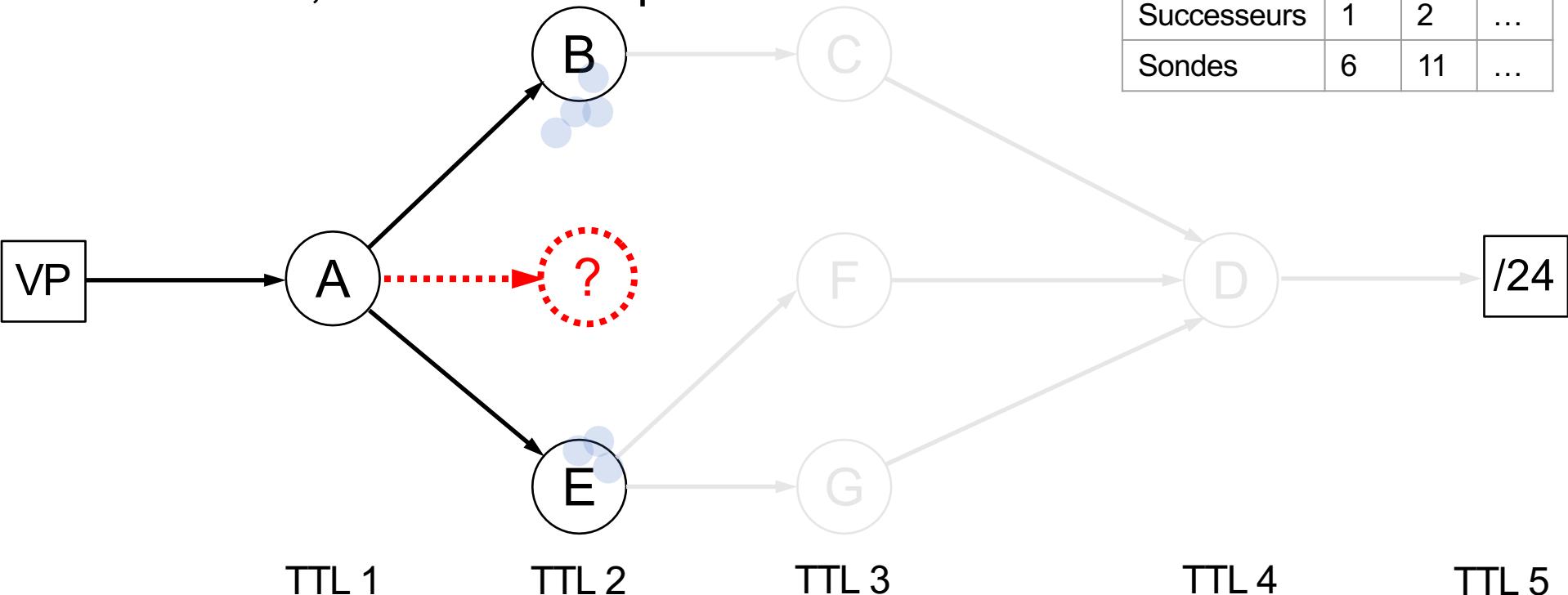
Successseurs	1	2	...
Sondes	6	11	...



# Sondage multichemins: MDA Paris Traceroute, résolution séquentielle

Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%

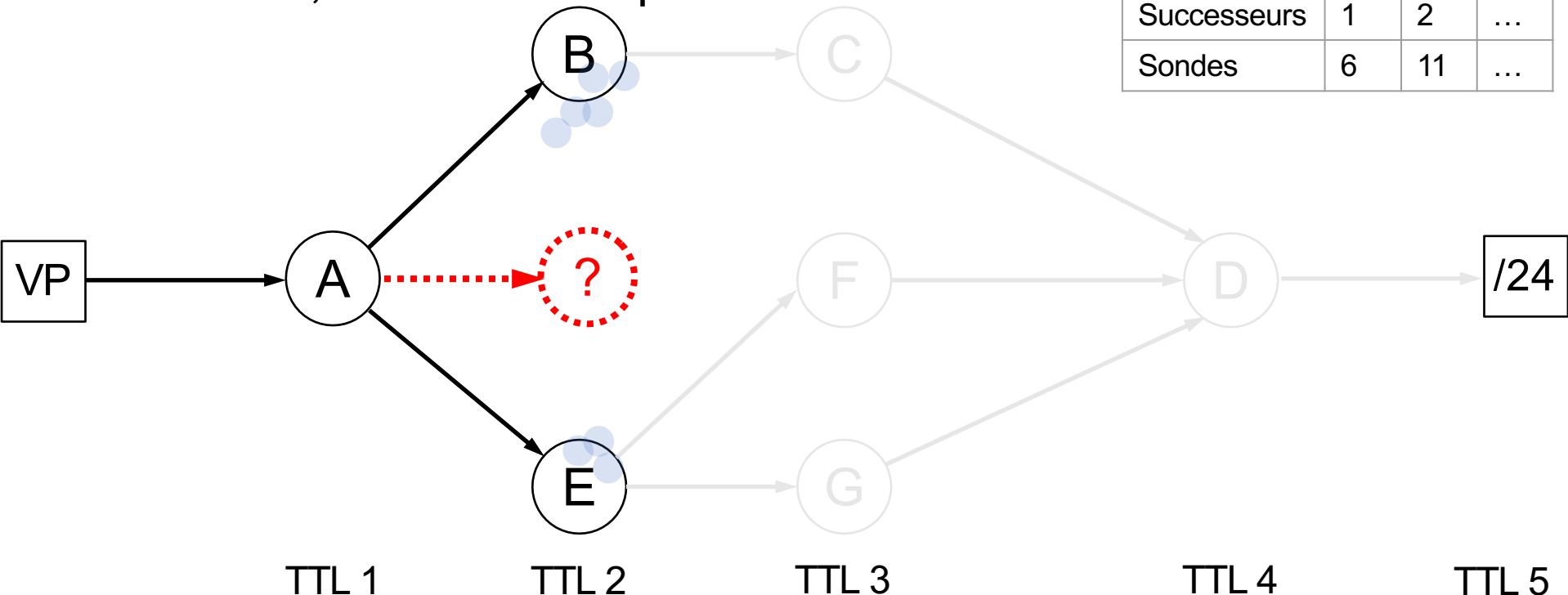
Successseurs	1	2	...
Sondes	6	11	...



# Sondage multichemins: MDA Paris Traceroute, résolution séquentielle

Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%

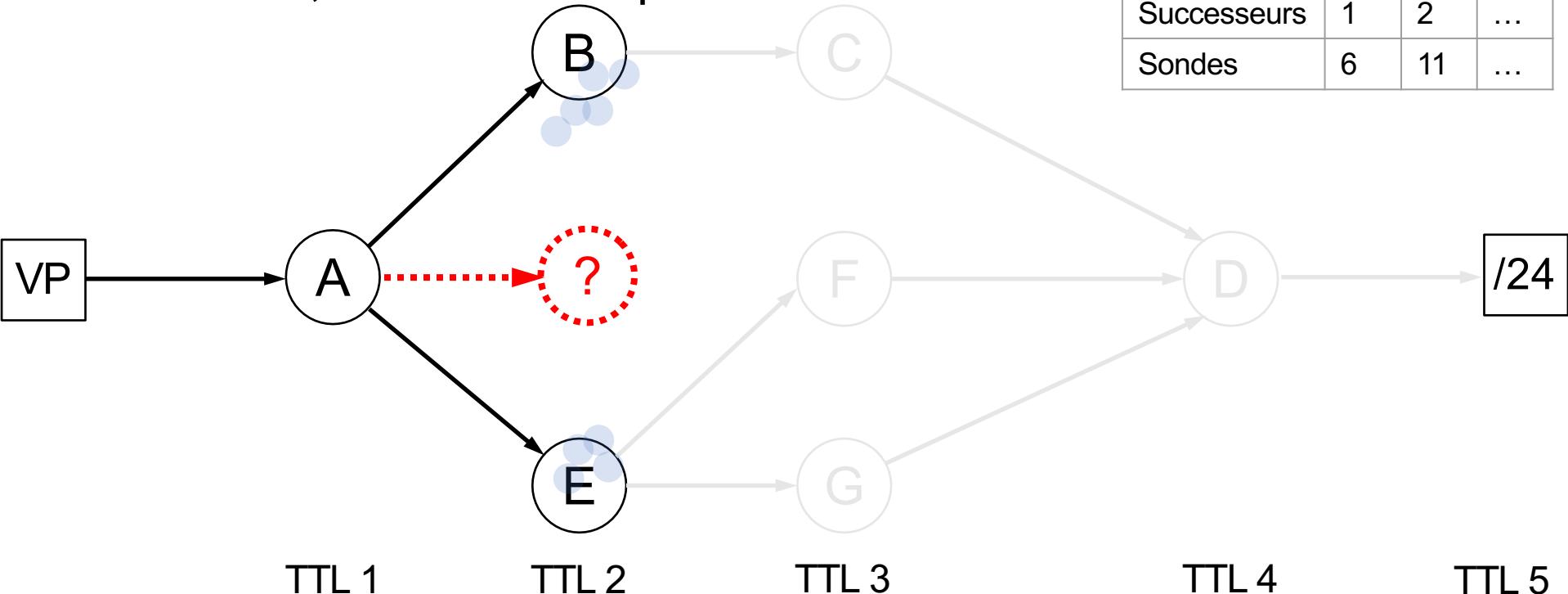
Successseurs	1	2	...
Sondes	6	11	...



# Sondage multichemins: MDA Paris Traceroute, résolution séquentielle

Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%

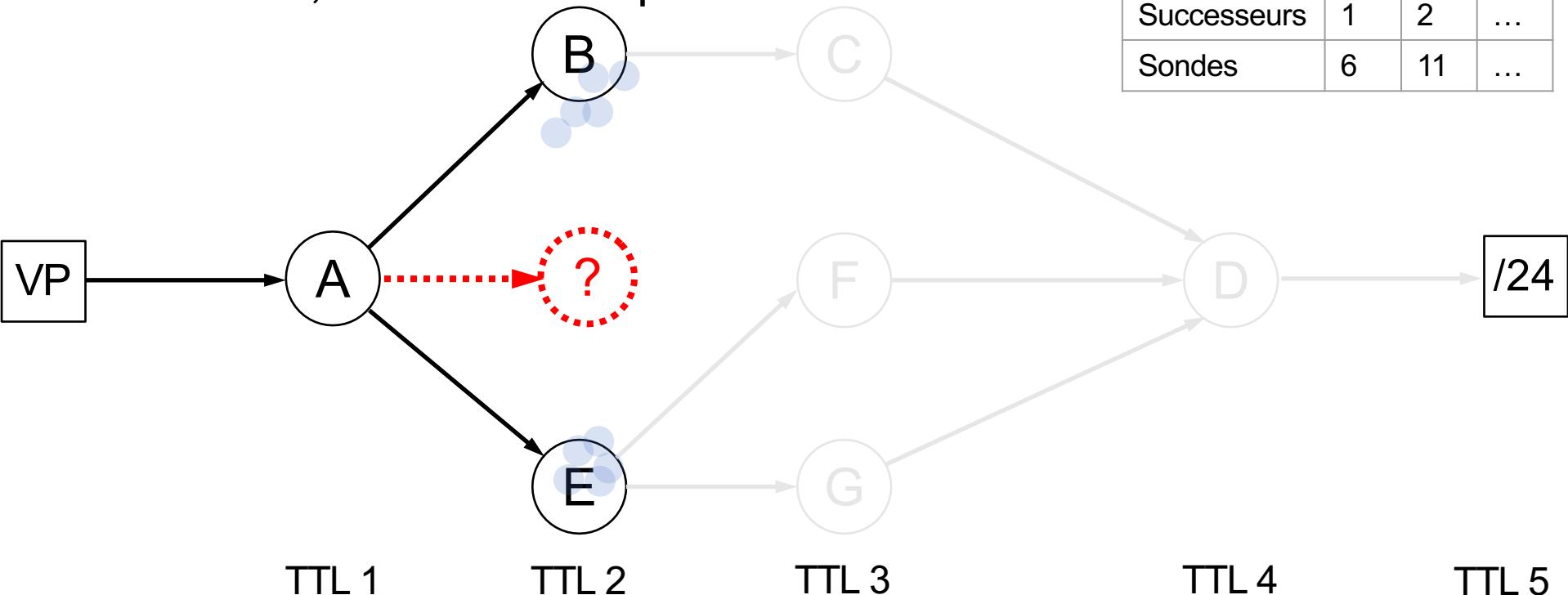
Successseurs	1	2	...
Sondes	6	11	...



# Sondage multichemins: MDA Paris Traceroute, résolution séquentielle

Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%

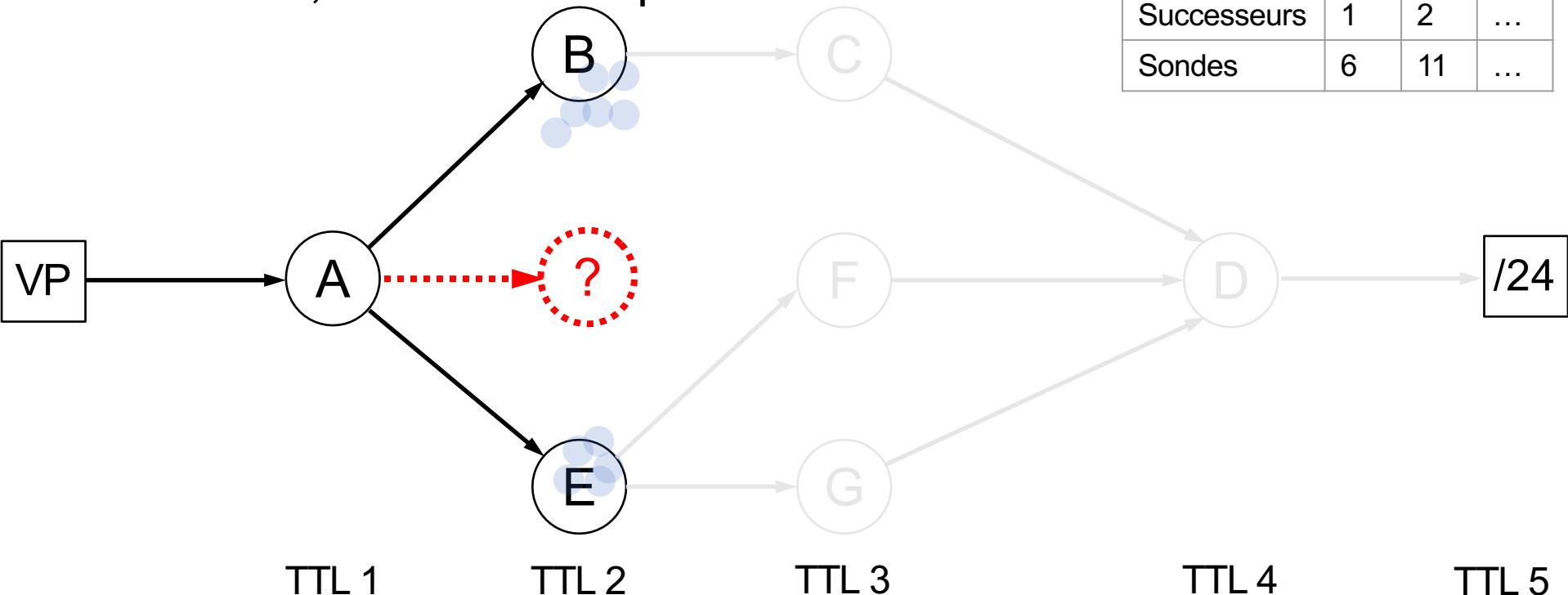
Successseurs	1	2	...
Sondes	6	11	...



# Sondage multichemins: MDA Paris Traceroute, résolution séquentielle

Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%

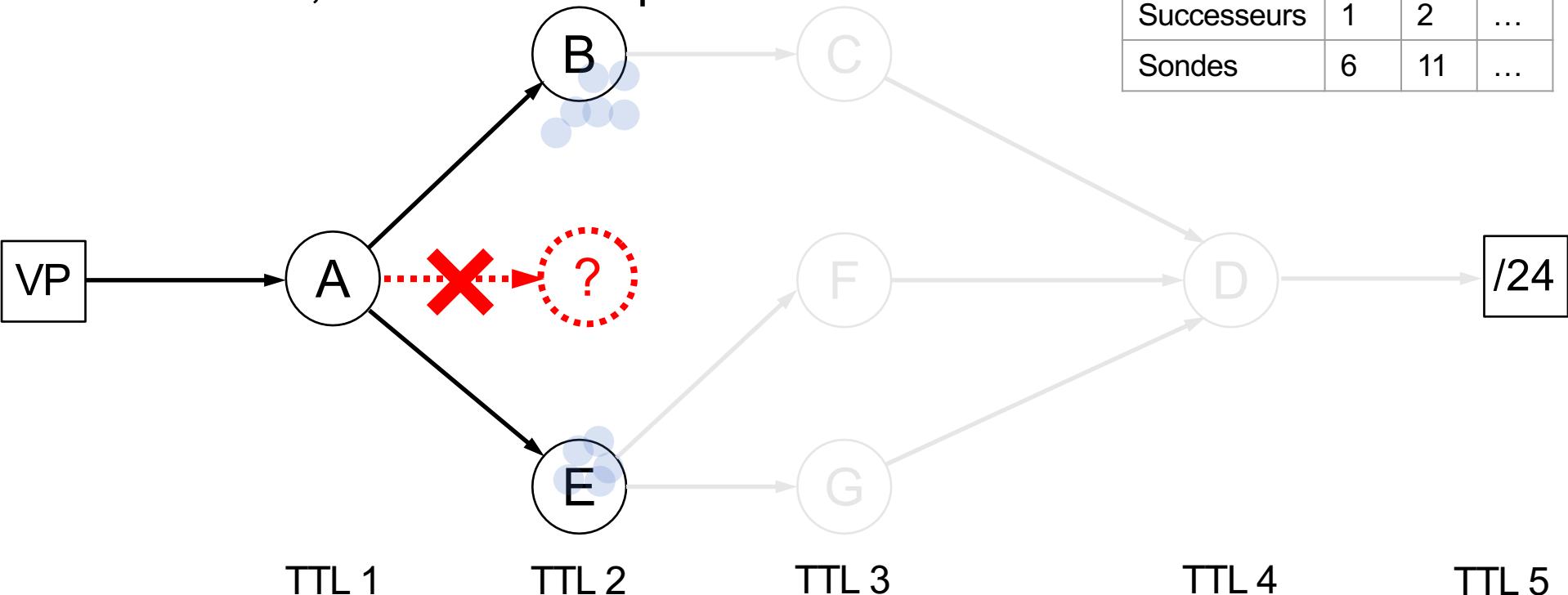
Successseurs	1	2	...
Sondes	6	11	...



# Sondage multichemins: MDA Paris Traceroute, résolution séquentielle

Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%

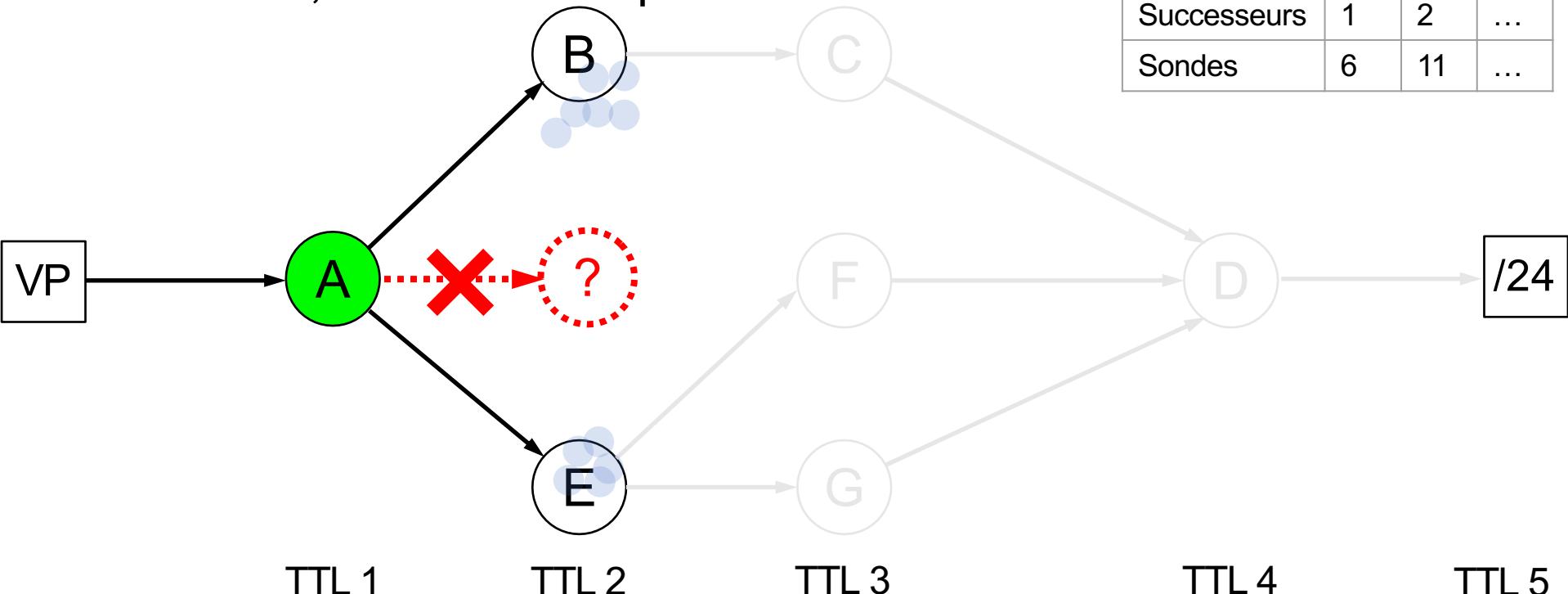
Successseurs	1	2	...
Sondes	6	11	...



# Sondage multichemins: MDA Paris Traceroute, résolution séquentielle

Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%

Successseurs	1	2	...
Sondes	6	11	...



# Cartographier les diamants

# Cartographier les diamants

- Sondage monochemin: traceroute, Paris Traceroute

# Cartographier les diamants

- Sondage monochemin: traceroute, Paris Traceroute  
→ Incomplet, pas de garanties statistiques

# Cartographier les diamants

- Sondage monochemin: traceroute, Paris Traceroute  
→ Incomplet, pas de garanties statistiques
- Sondage multichemins: MDA Paris Traceroute

# Cartographier les diamants

- Sondage monochemin: traceroute, Paris Traceroute  
→ Incomplet, pas de garanties statistiques
- Sondage multichemins: MDA Paris Traceroute  
→ Pas de passage à l'échelle

# Difficultés techniques

# Difficultés techniques

- Sondage *déterministe* et *synchrone* pour atteindre les garanties statistiques

# Idées clefs

# Idées clefs

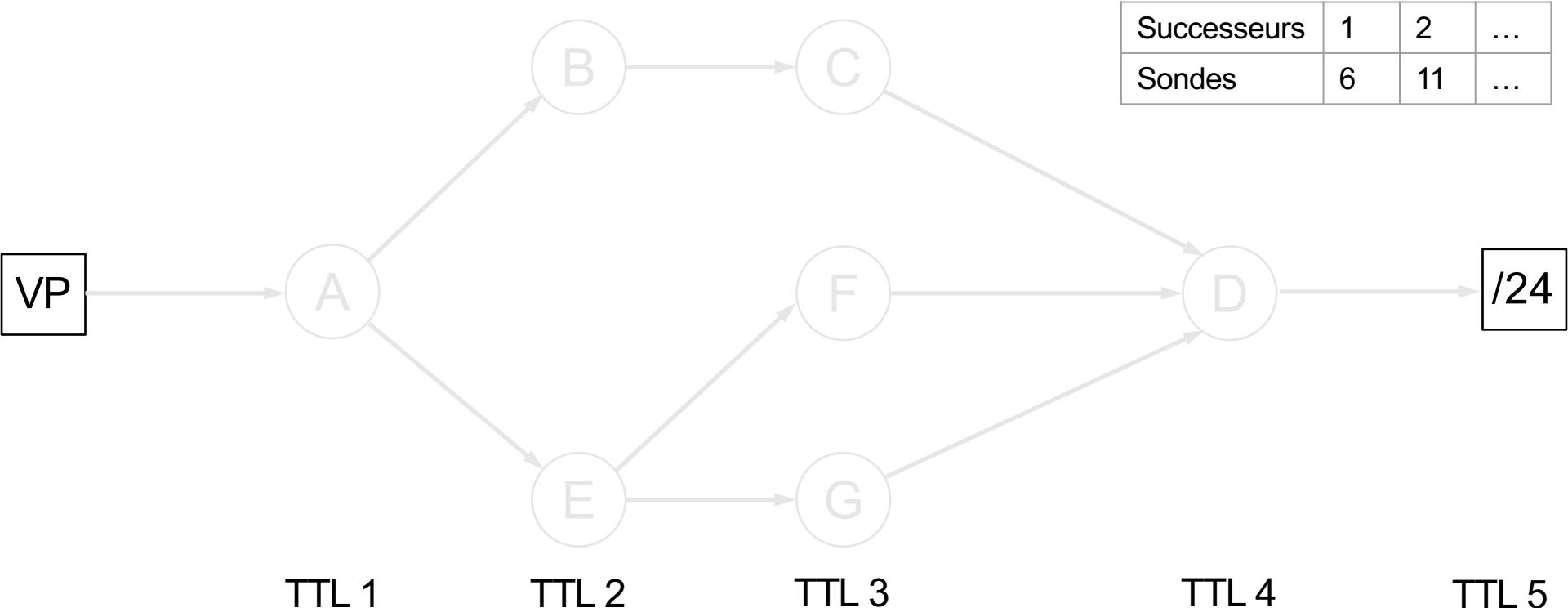
- Résoudre tous les nœuds de la topologie **parallèlement** avec un sondage probabiliste et **asynchrone**

# Idées clefs

- Résoudre tous les nœuds de la topologie parallèlement avec un sondage probabiliste et asynchrone
- Algorithme en rondes:
  - Entrée: topologie découverte par la ronde précédente
  - Sortie: Nombre de sondes à envoyer pour atteindre les garanties statistiques

# Diamond-Miner

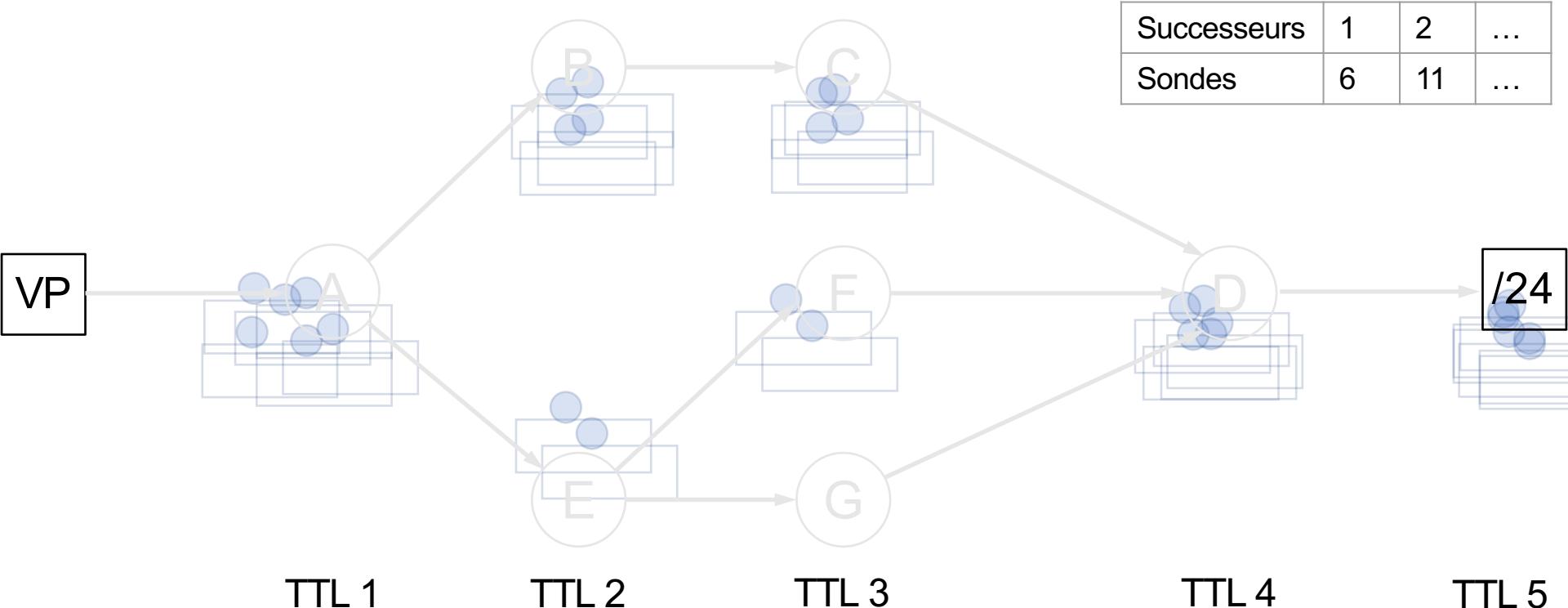
Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%



Successseurs	1	2	...
Sondes	6	11	...

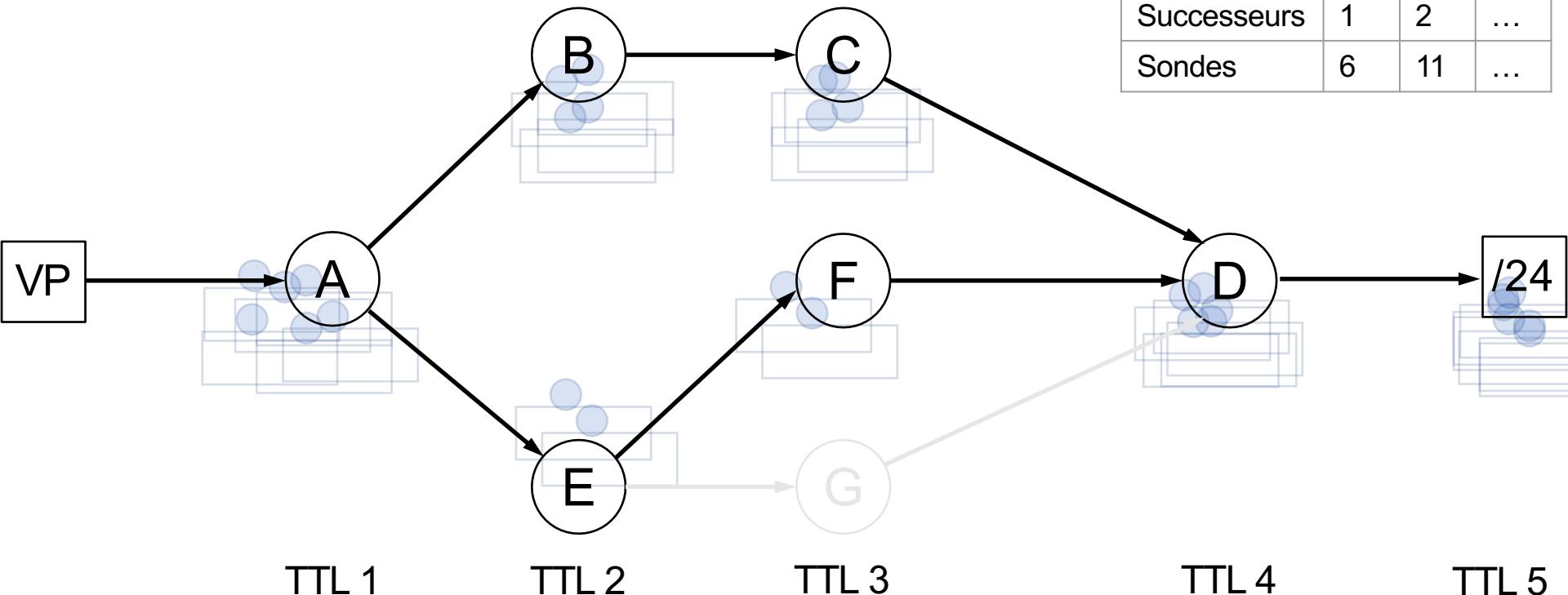
# Diamond-Miner

Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%



# Diamond-Miner

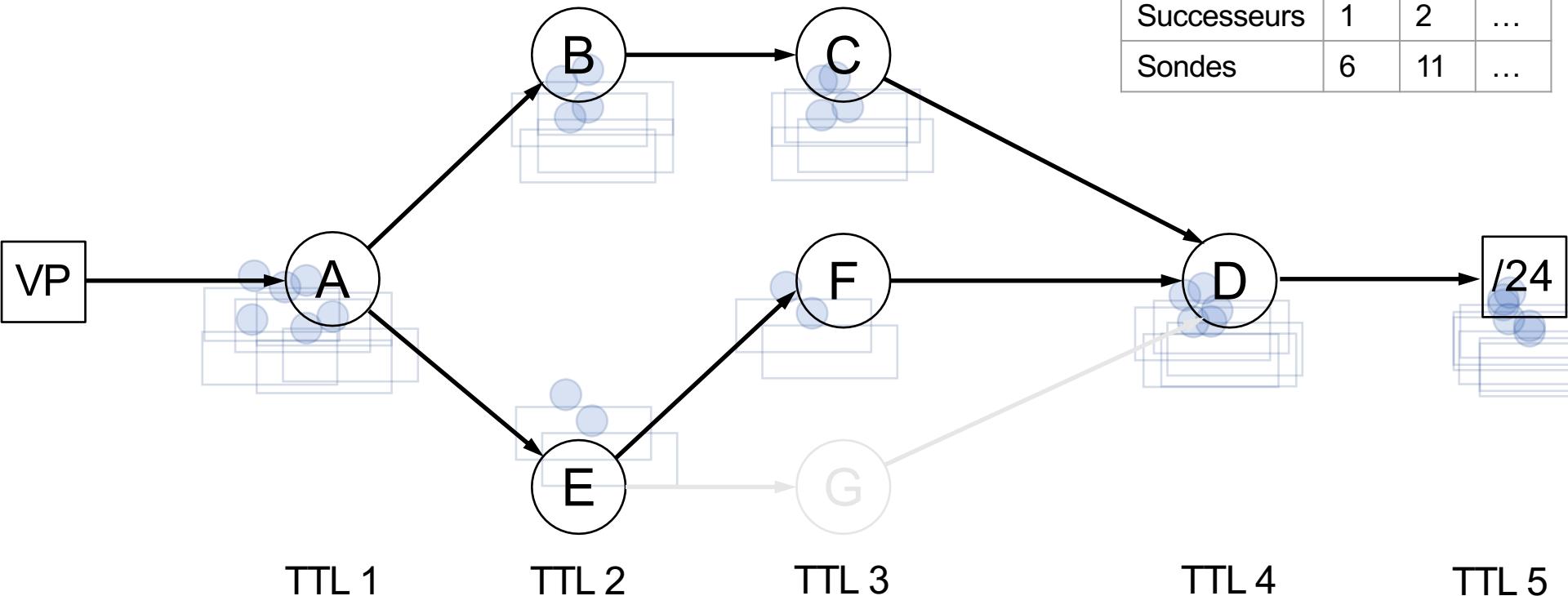
Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%



Successseurs	1	2	...
Sondes	6	11	...

# Diamond-Miner

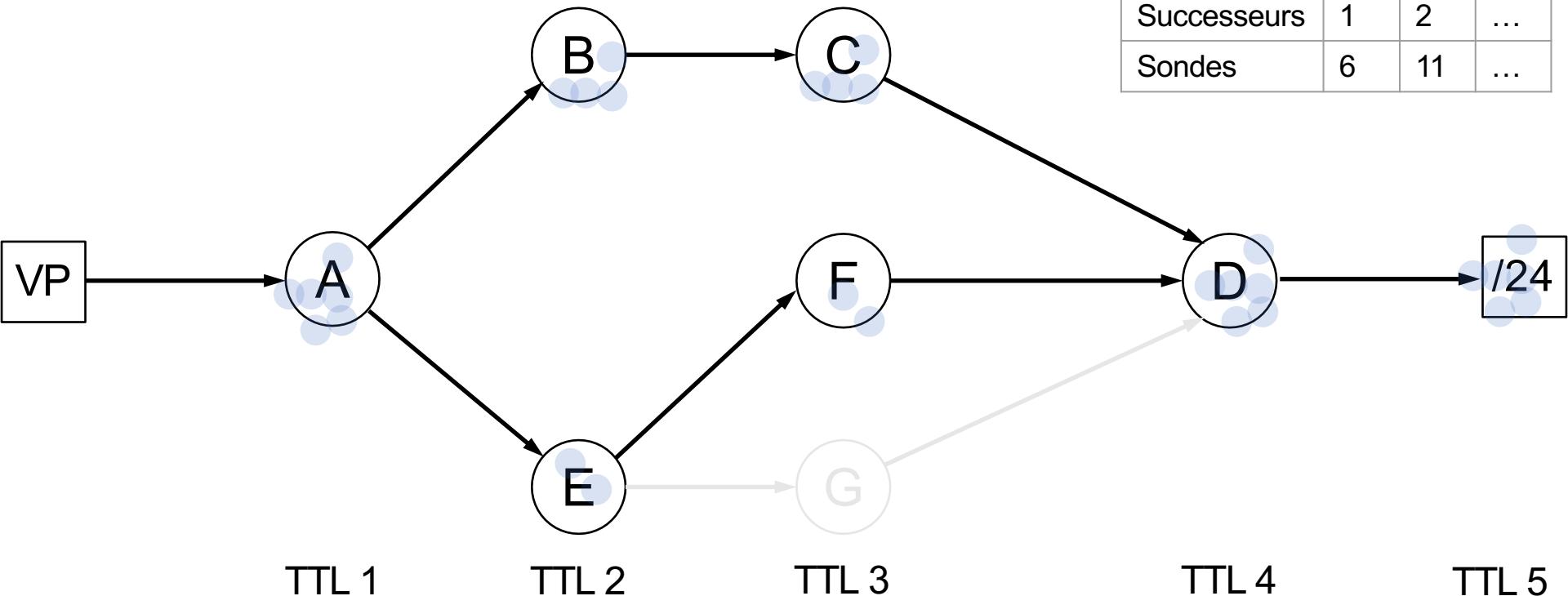
Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%



Round 1: envoi

# Diamond-Miner

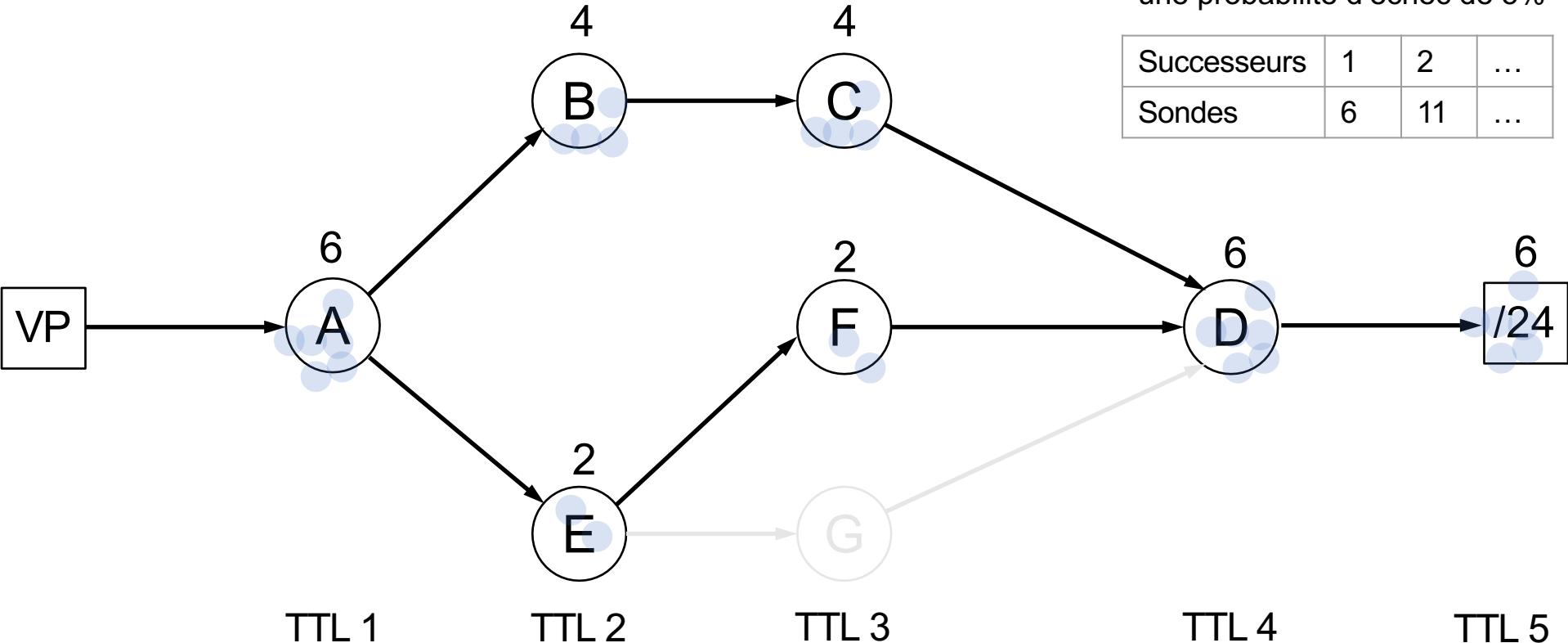
Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%



Round 2: calcul

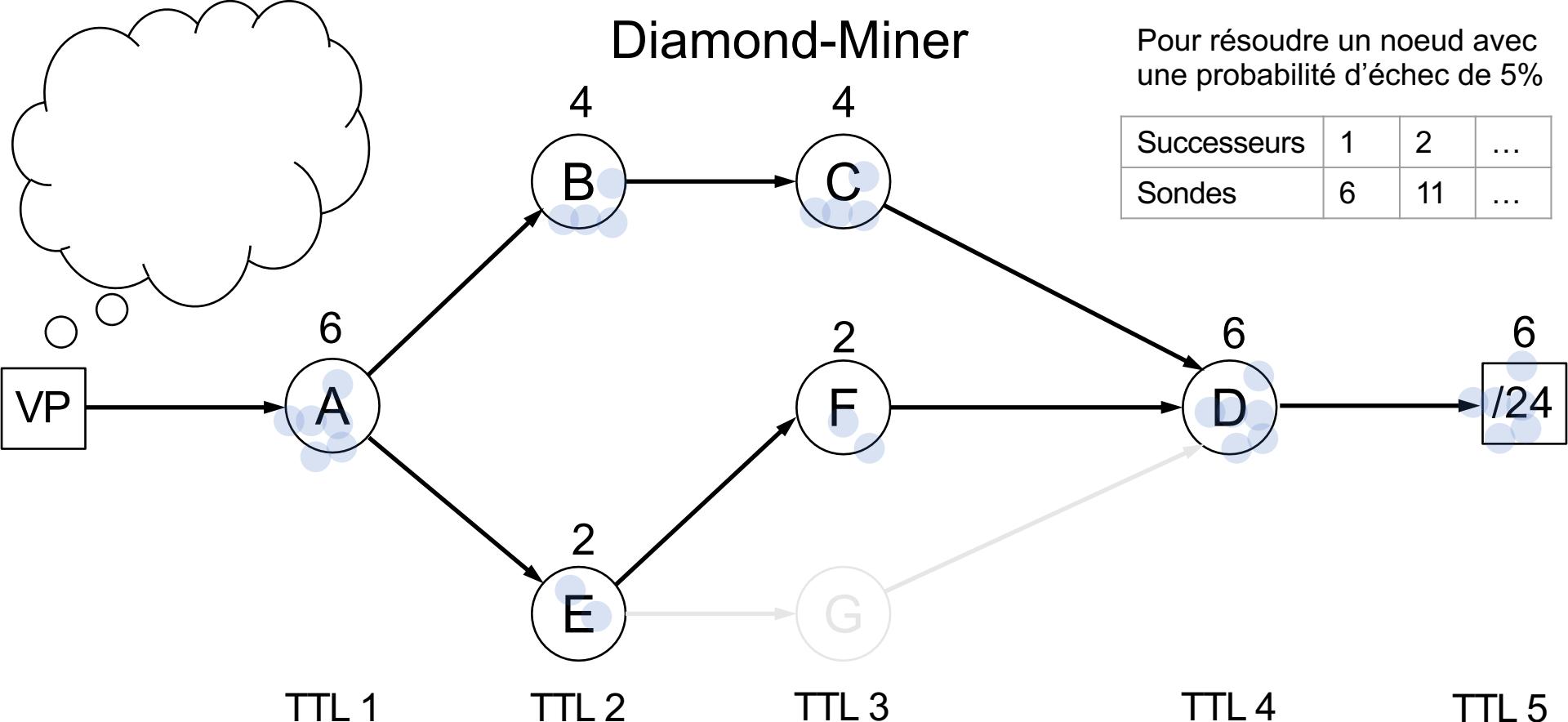
# Diamond-Miner

Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%



Round 2: calcul

# Diamond-Miner

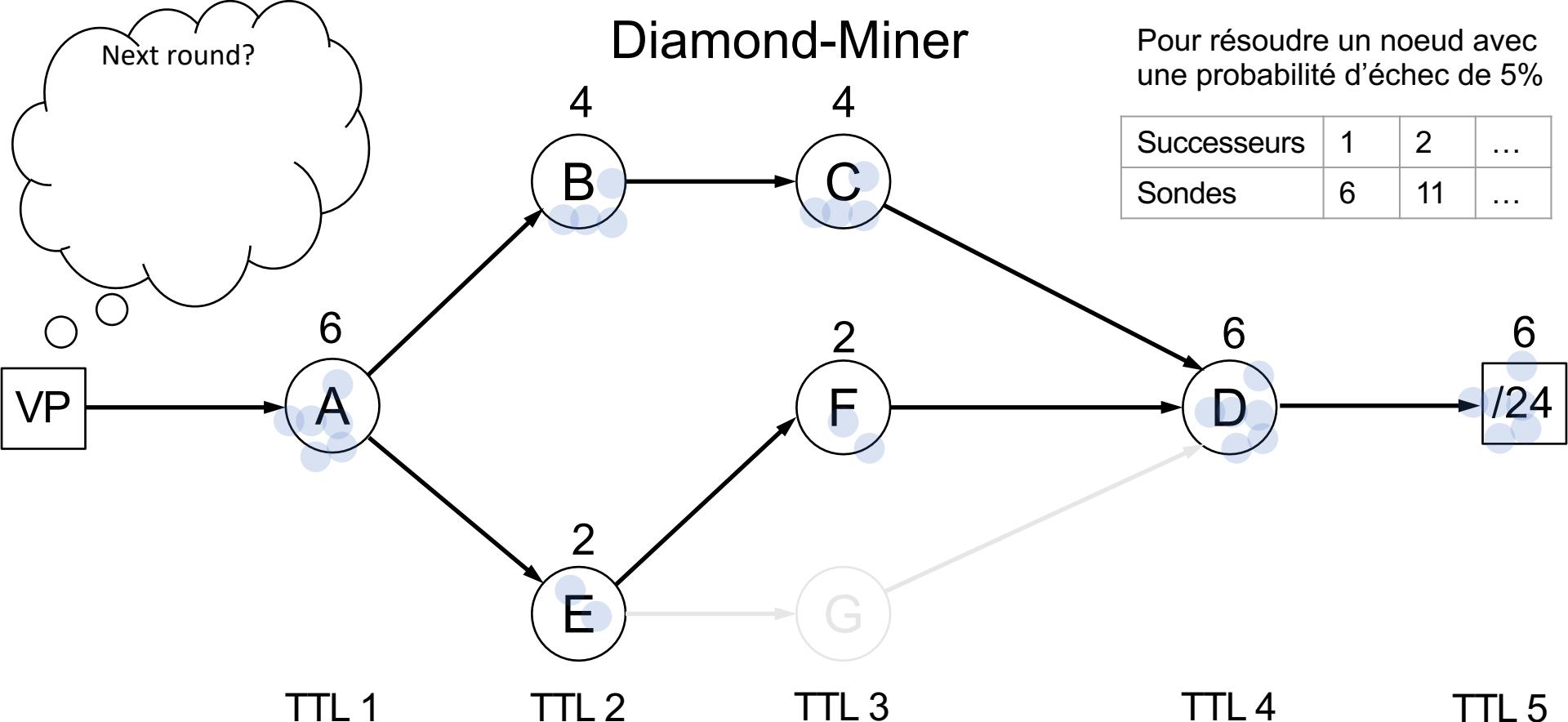


Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%

Successseurs	1	2	...
Sondes	6	11	...

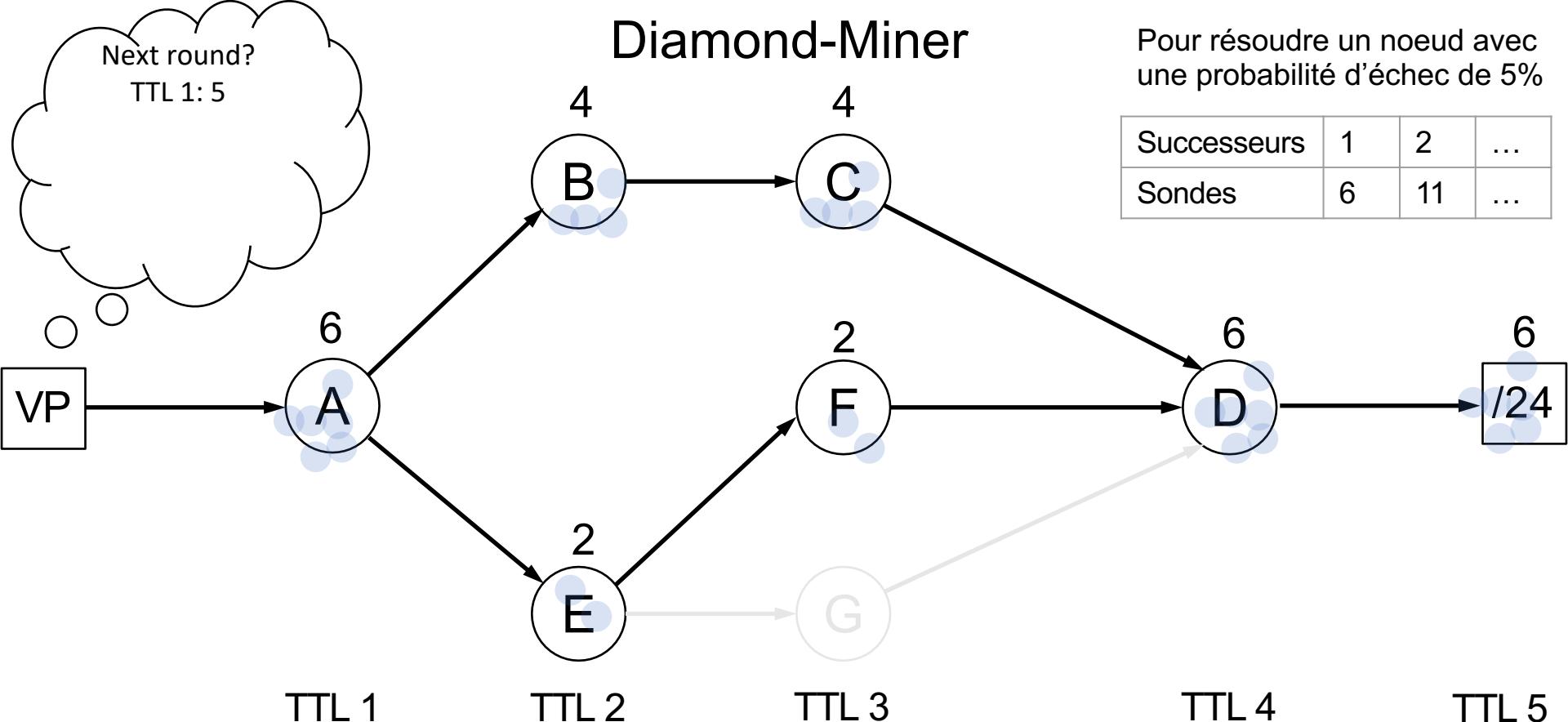
Round 2: calcul

# Diamond-Miner



Round 2: calcul

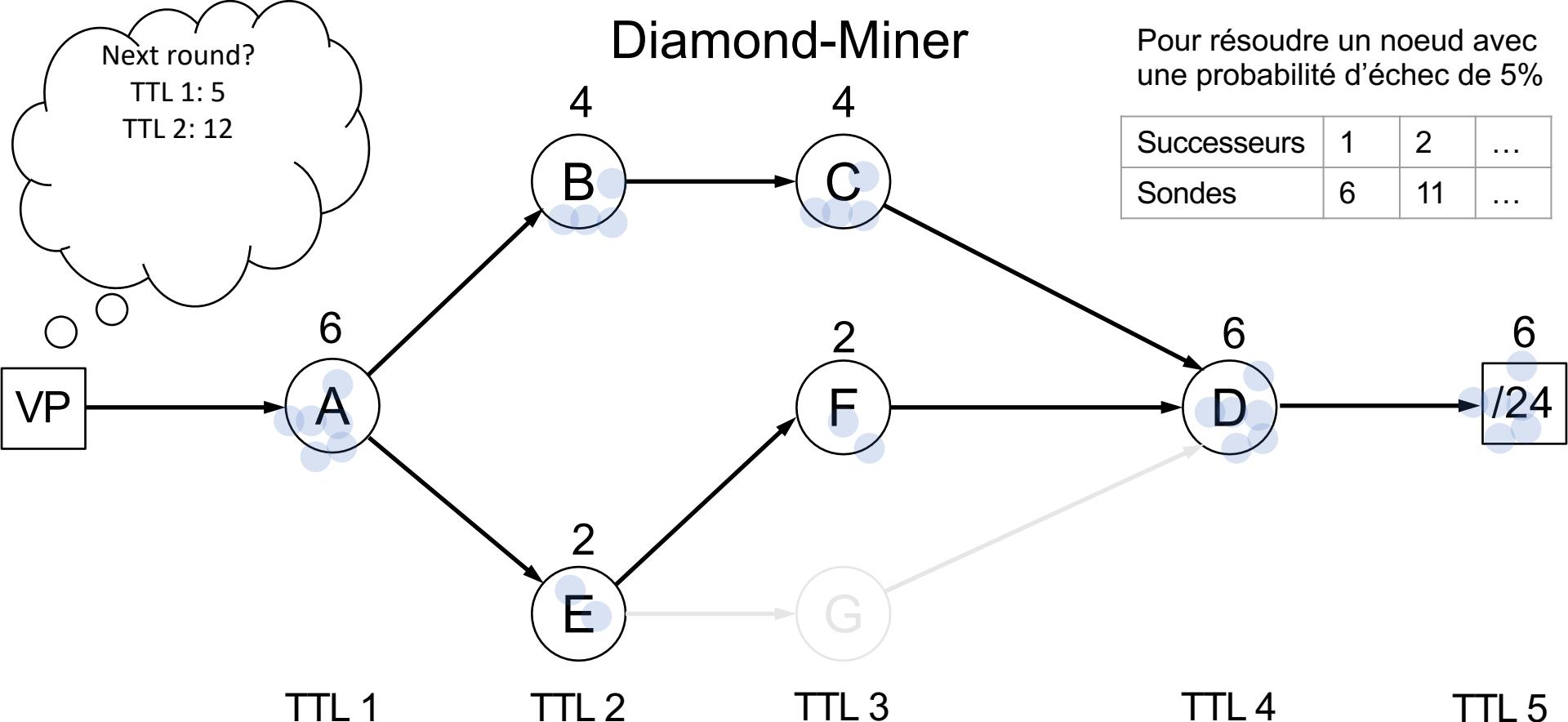
# Diamond-Miner



Round 2: calcul

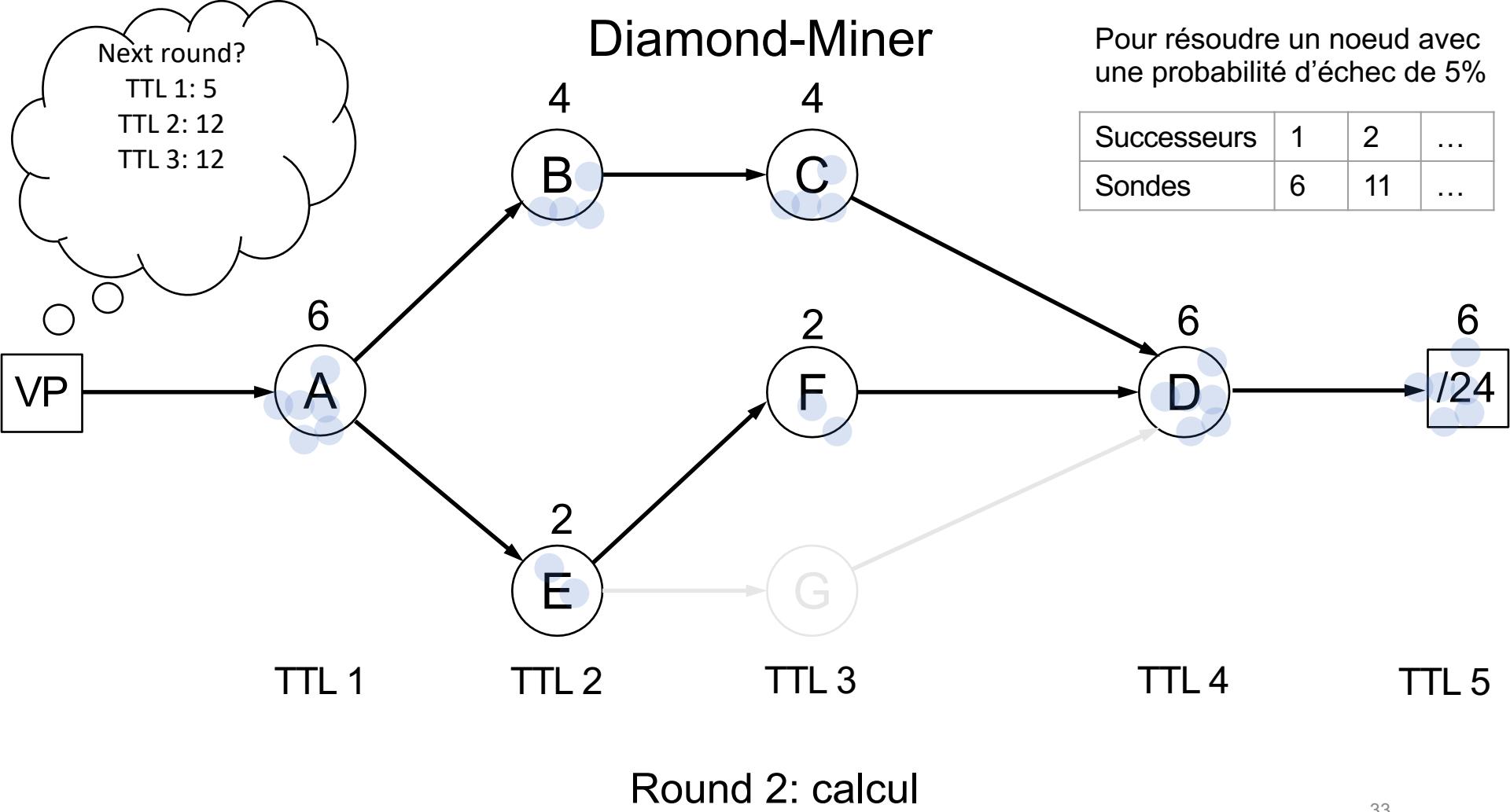
Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%

# Diamond-Miner

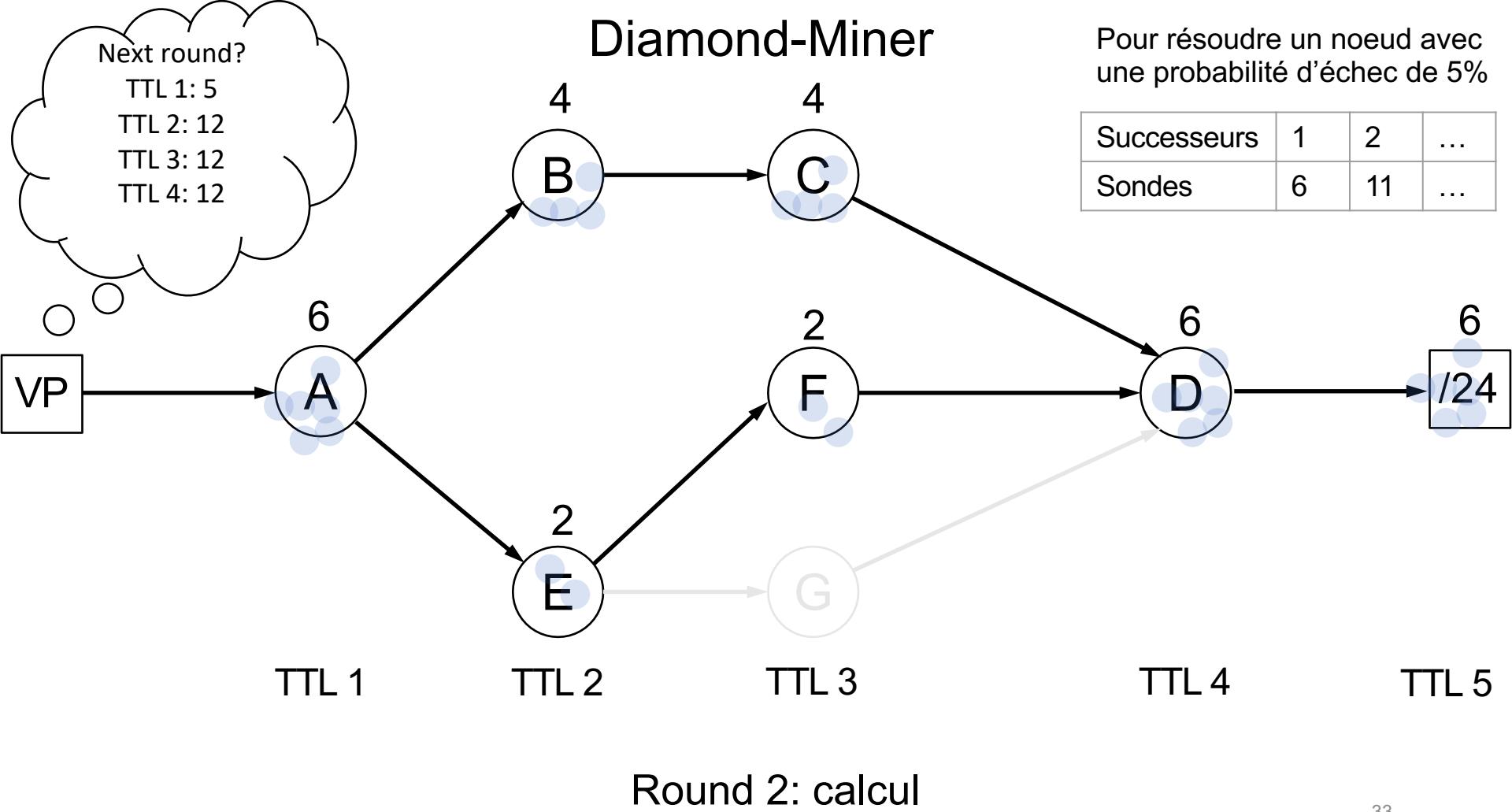


Round 2: calcul

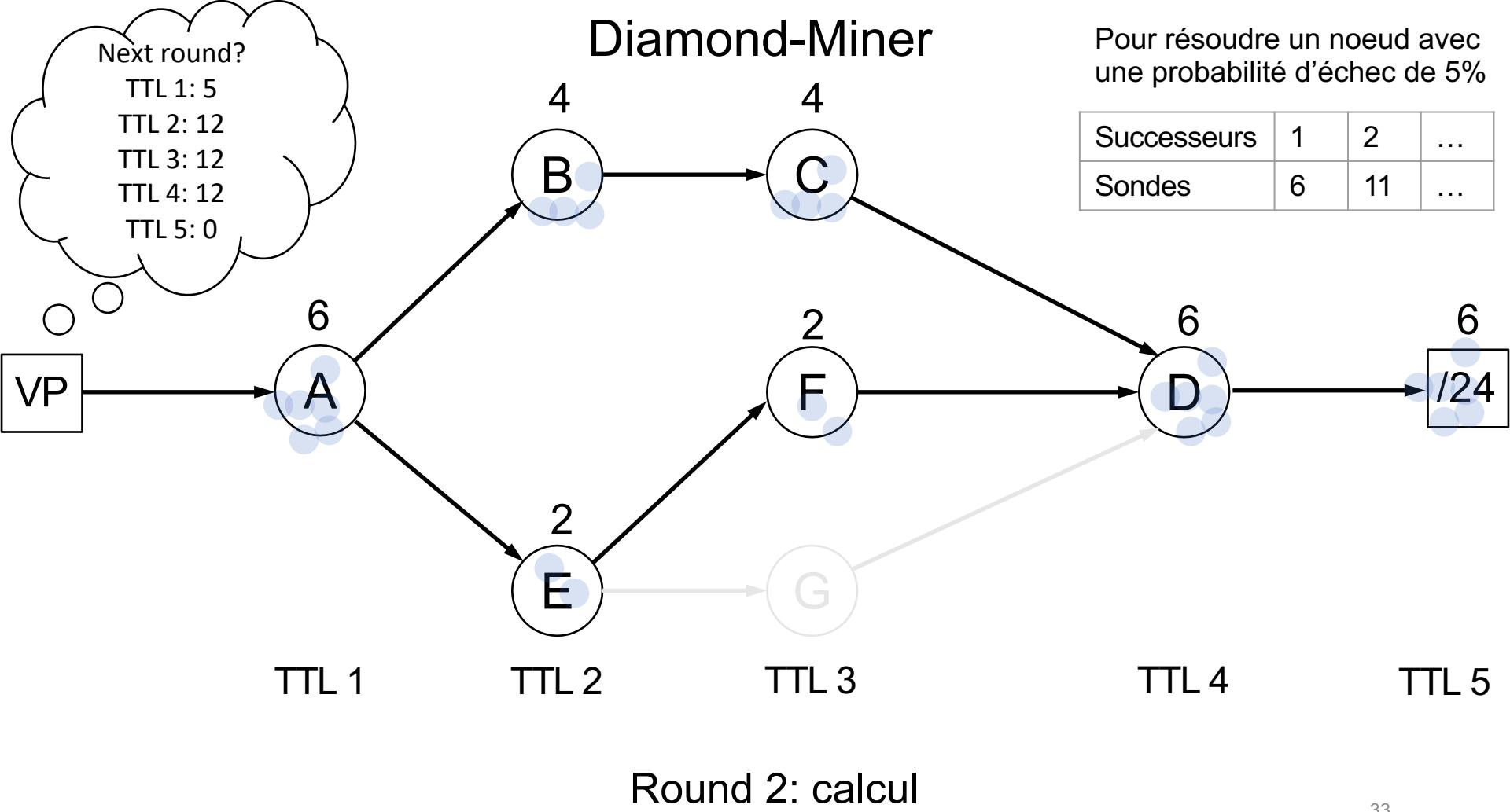
# Diamond-Miner



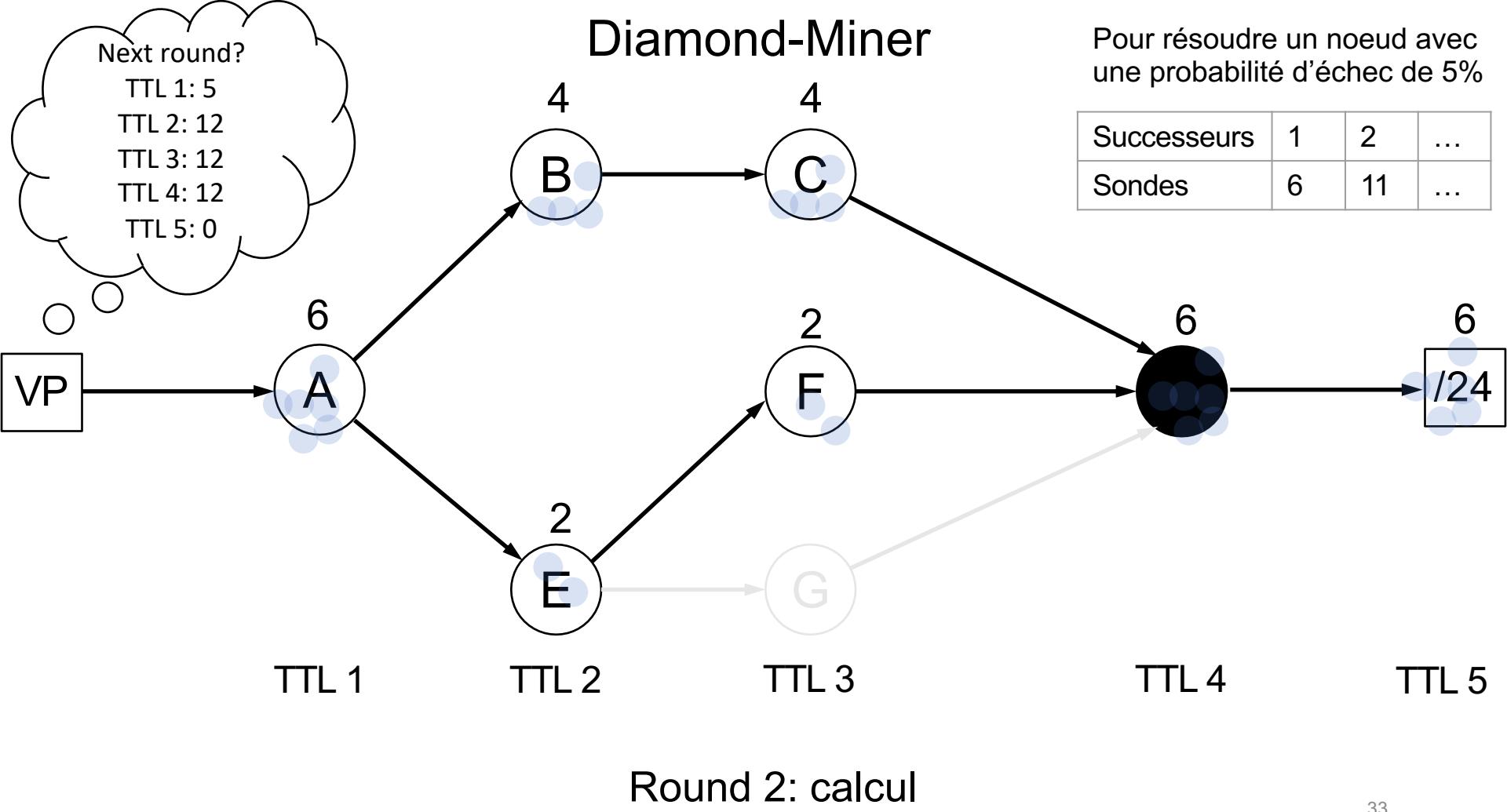
# Diamond-Miner



# Diamond-Miner



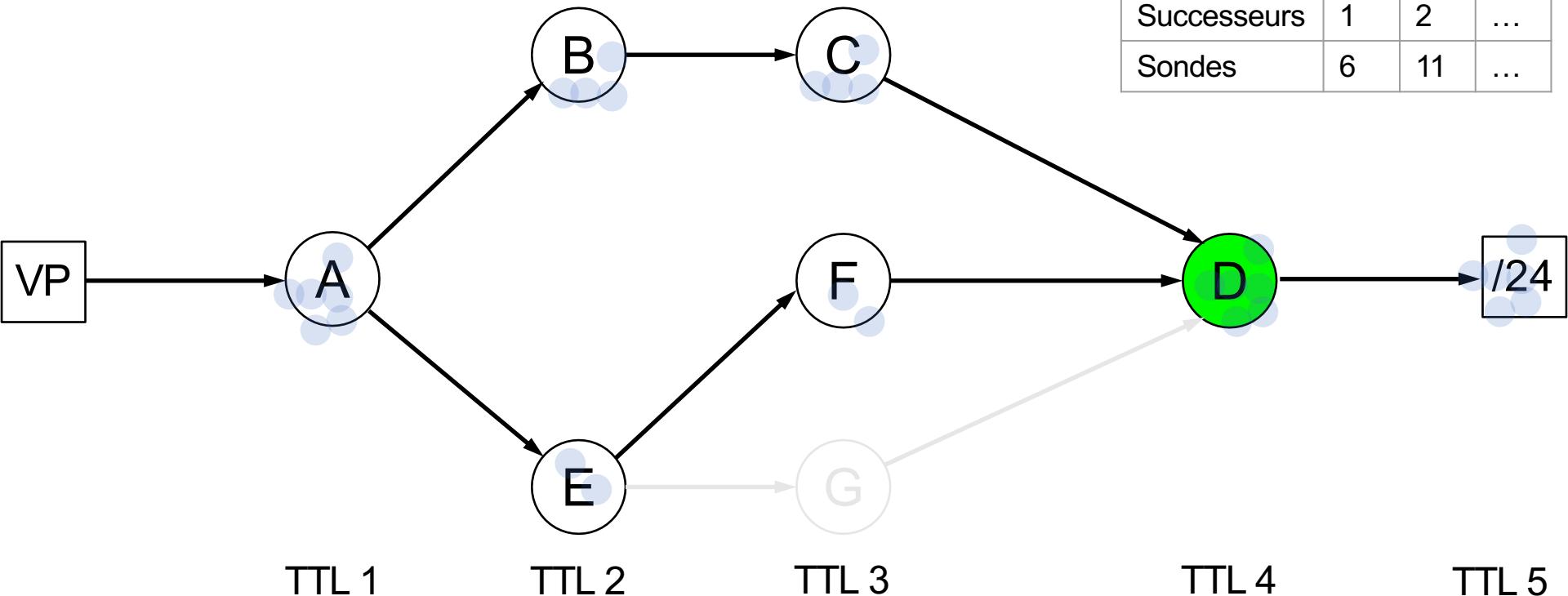
# Diamond-Miner



Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%

# Diamond-Miner

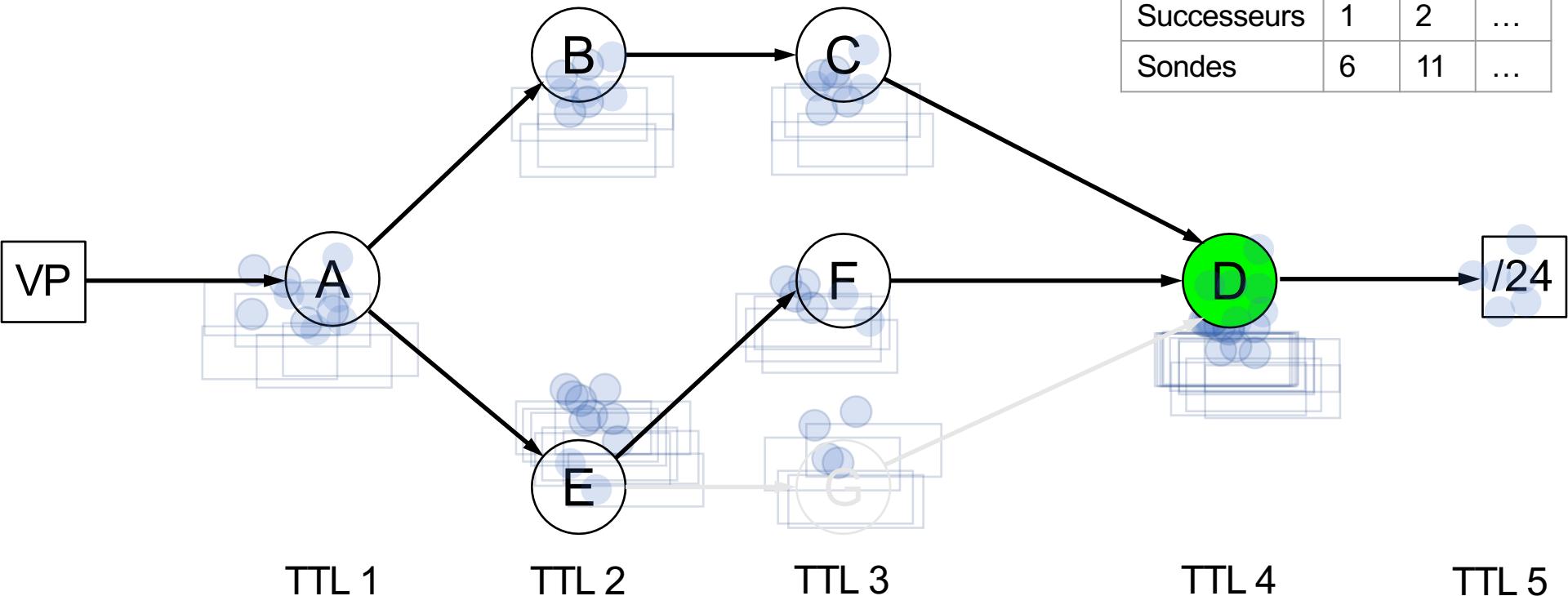
Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%



Round 2: envoi

# Diamond-Miner

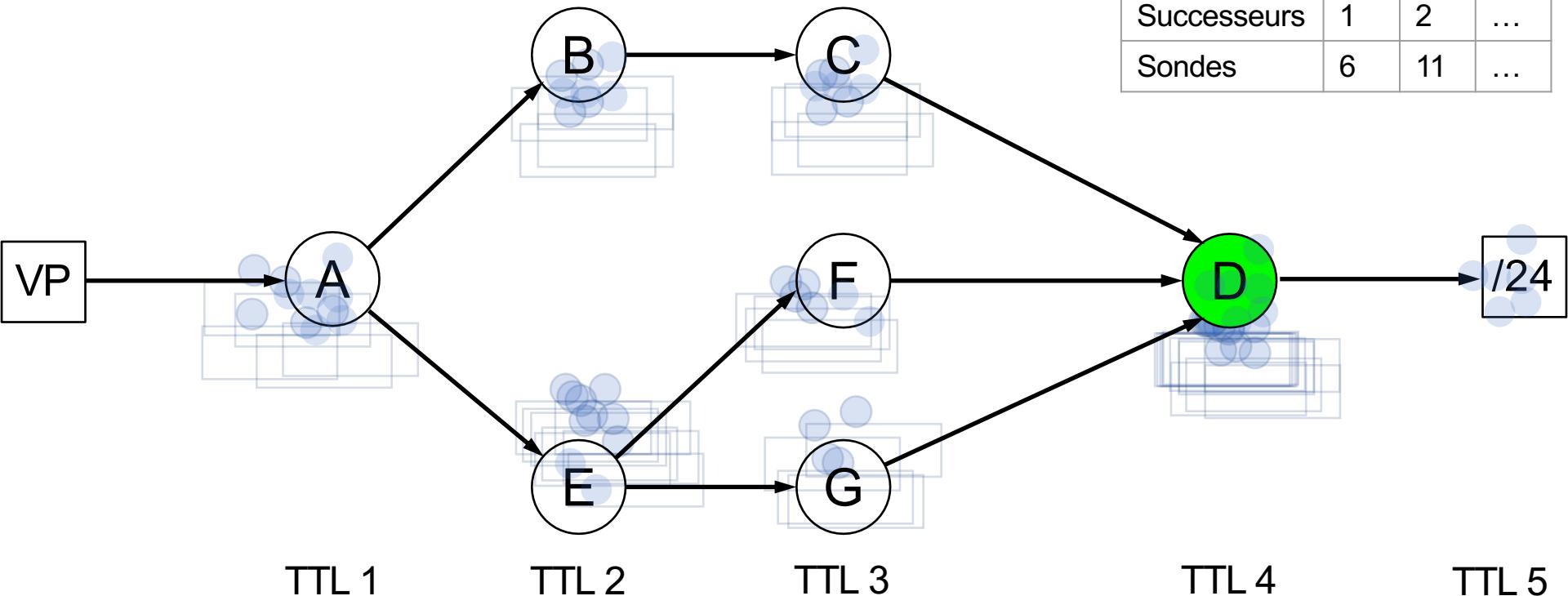
Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%



Round 2: envoi

# Diamond-Miner

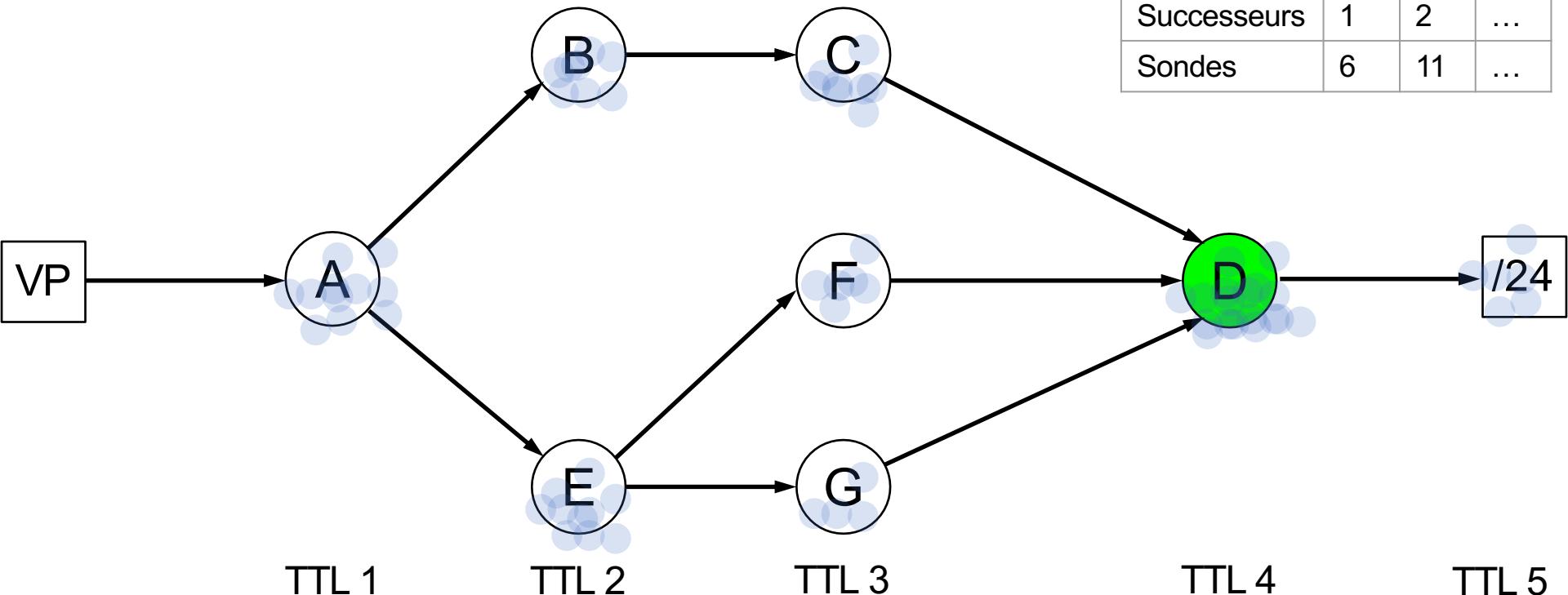
Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%



Round 2: envoi

# Diamond-Miner

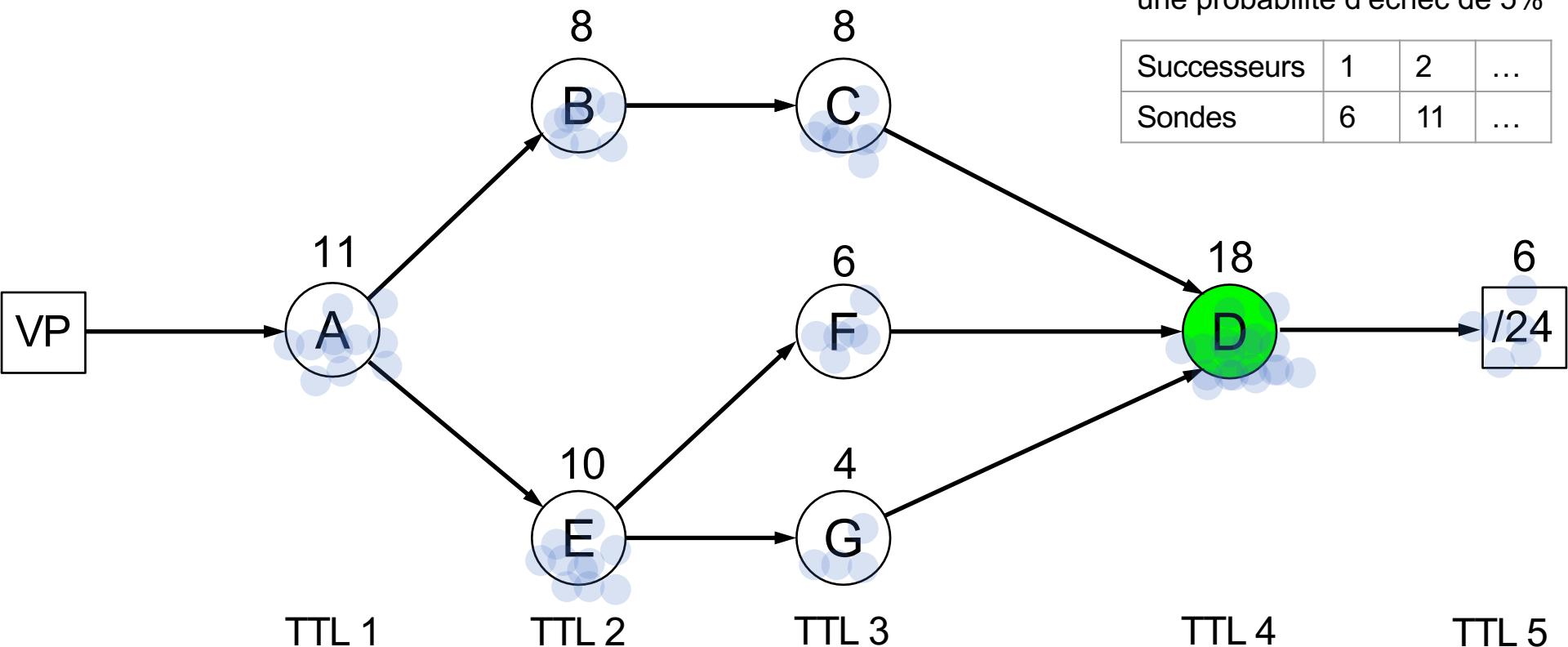
Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%



Round 3: calcul

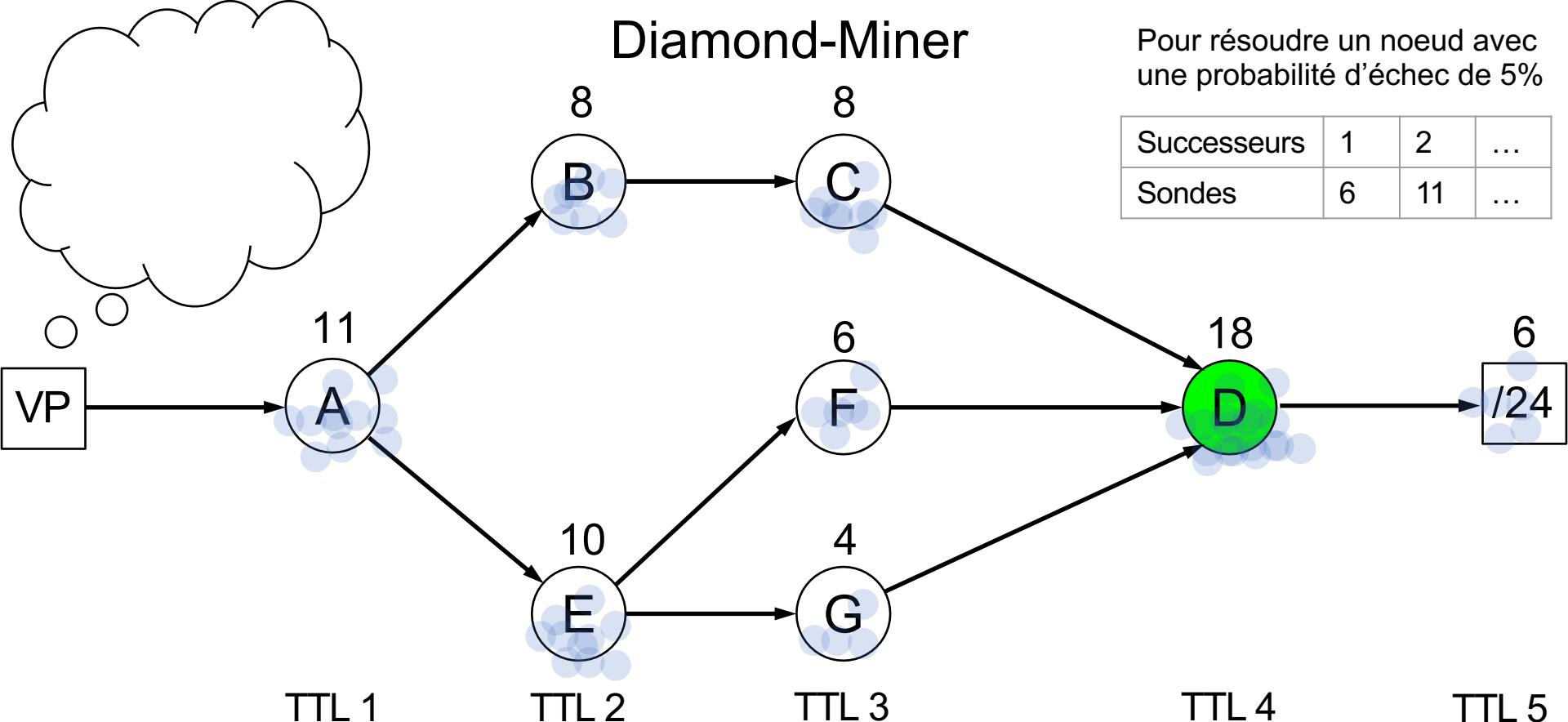
# Diamond-Miner

Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%



Round 3: calcul

# Diamond-Miner



Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%

Successseurs	1	2	...
Sondes	6	11	...

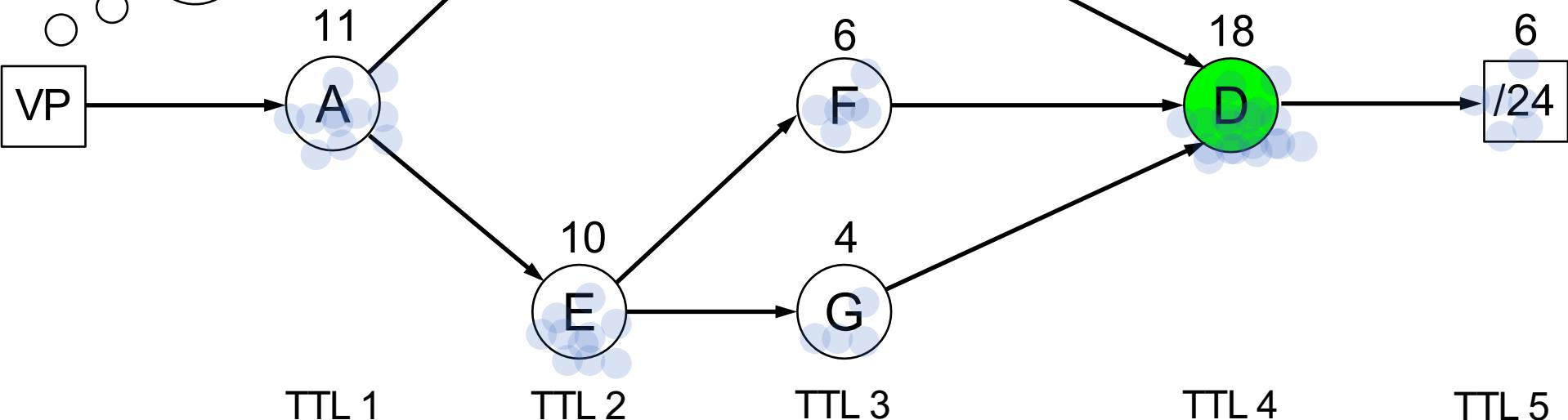
Round 3: calcul

Next round?

# Diamond-Miner

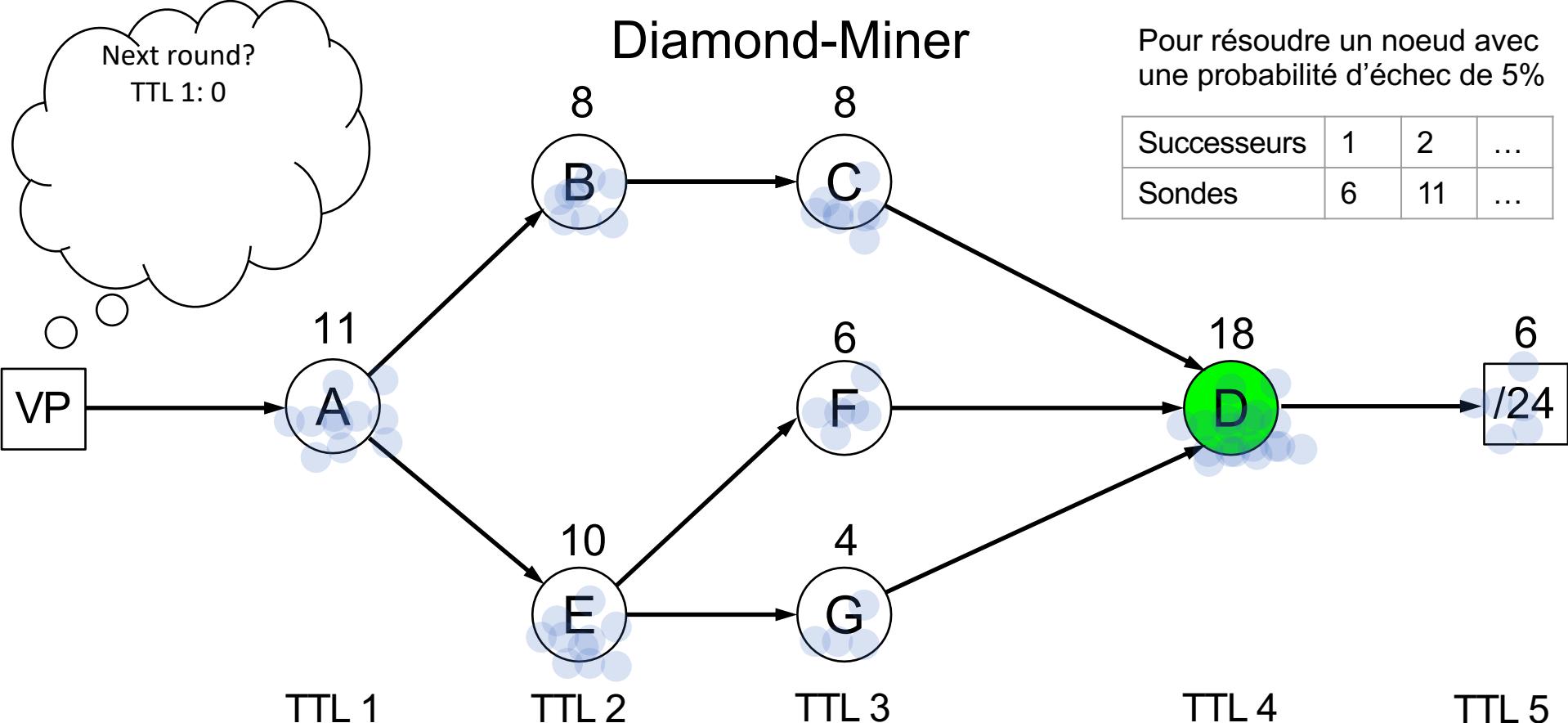
Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%

Successseurs	1	2	...
Sondes	6	11	...



Round 3: calcul

# Diamond-Miner

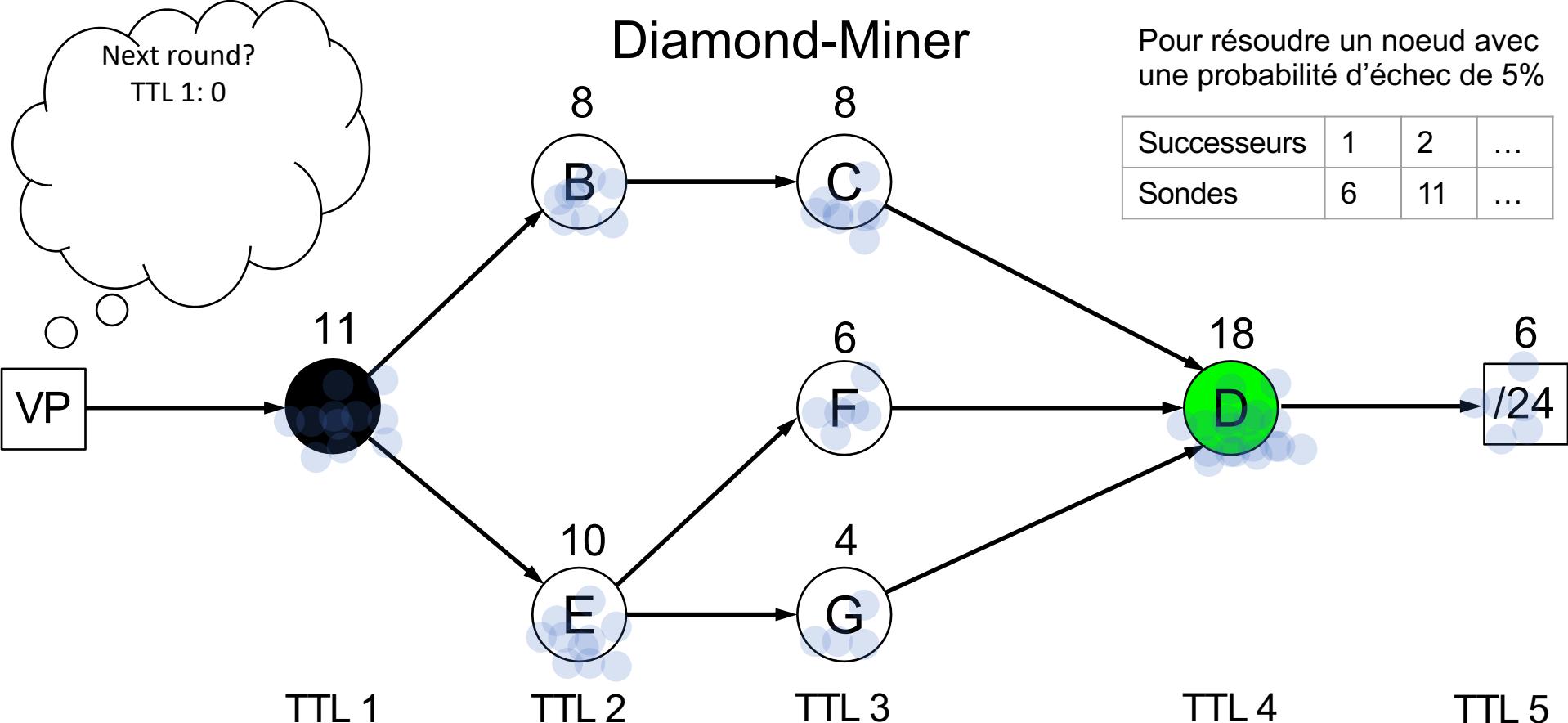


Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%

Successseurs	1	2	...
Sondes	6	11	...

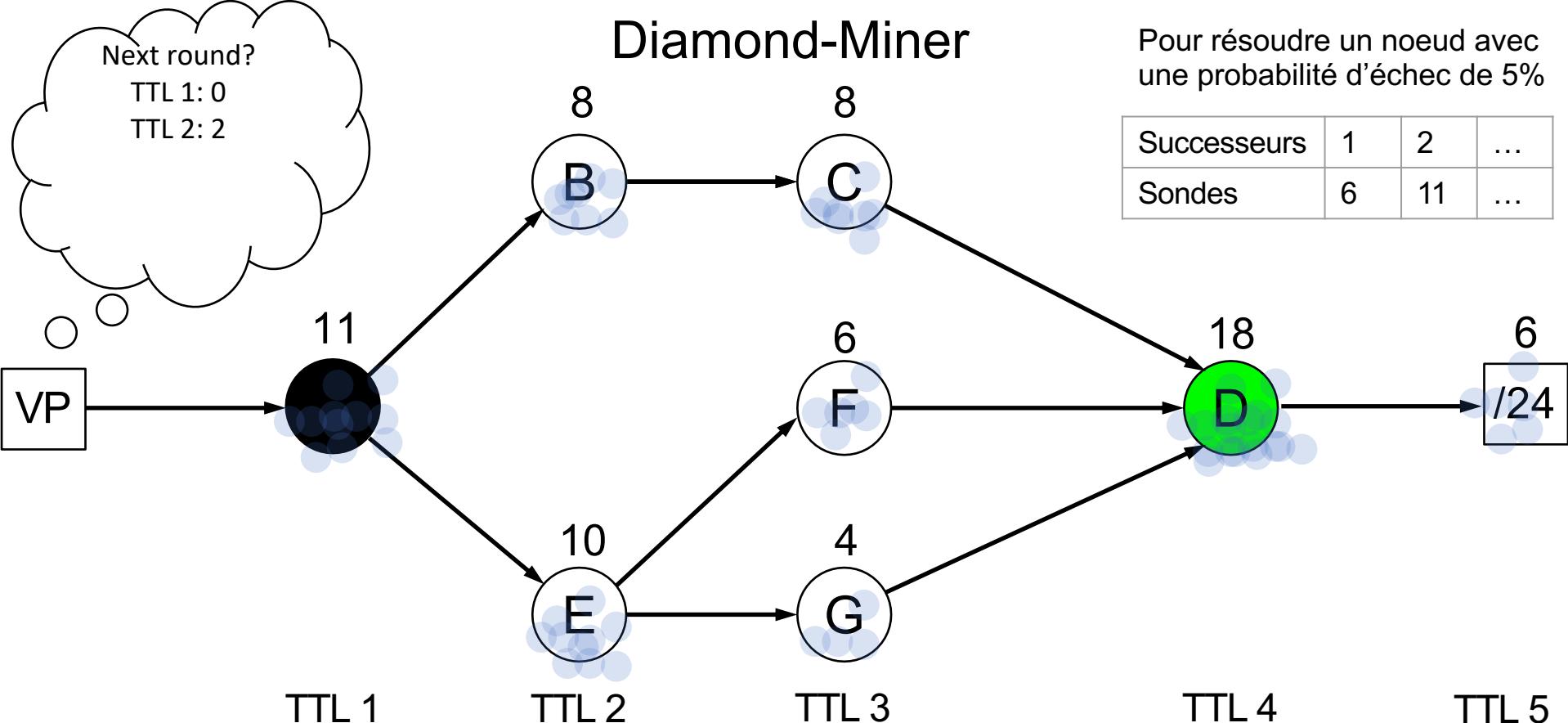
Round 3: calcul

# Diamond-Miner



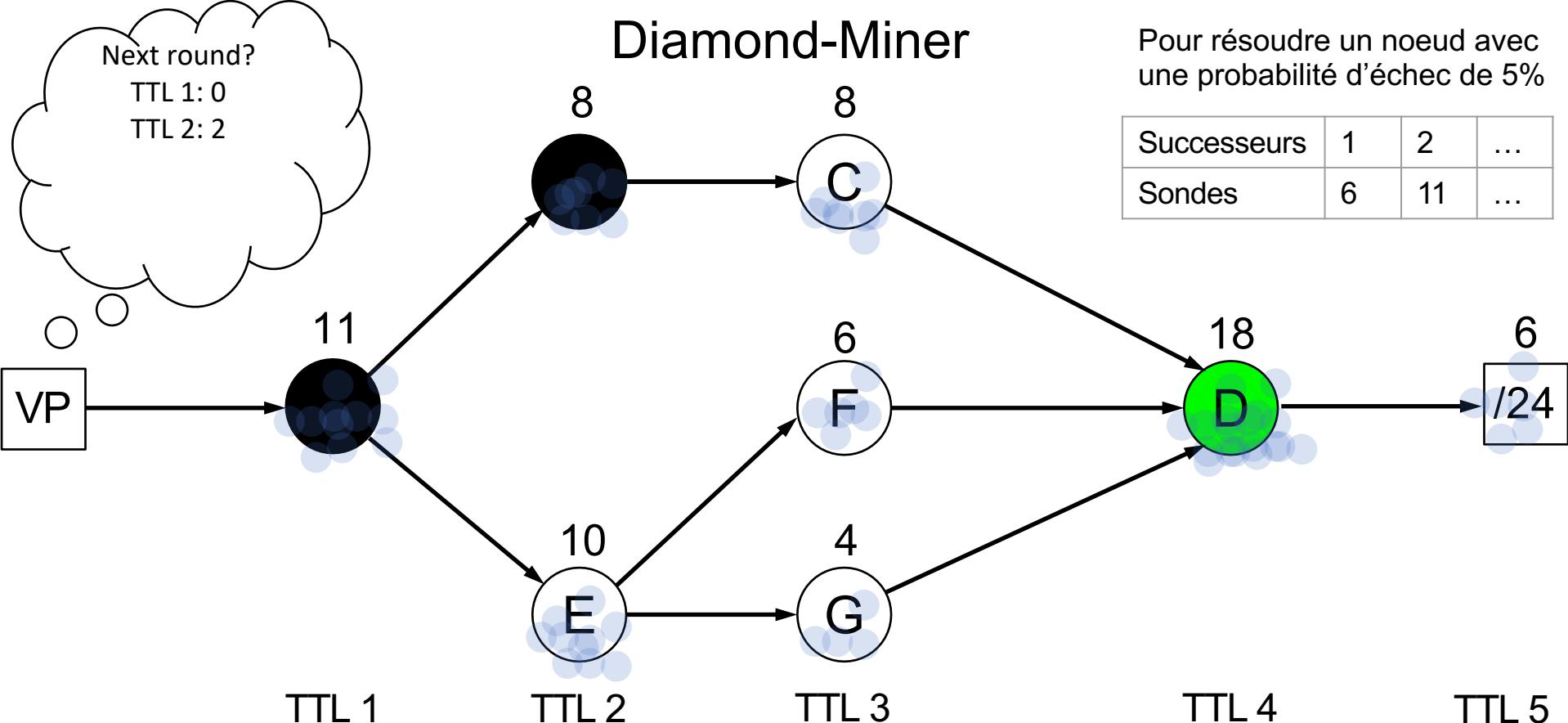
Round 3: calcul

# Diamond-Miner



Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%

# Diamond-Miner



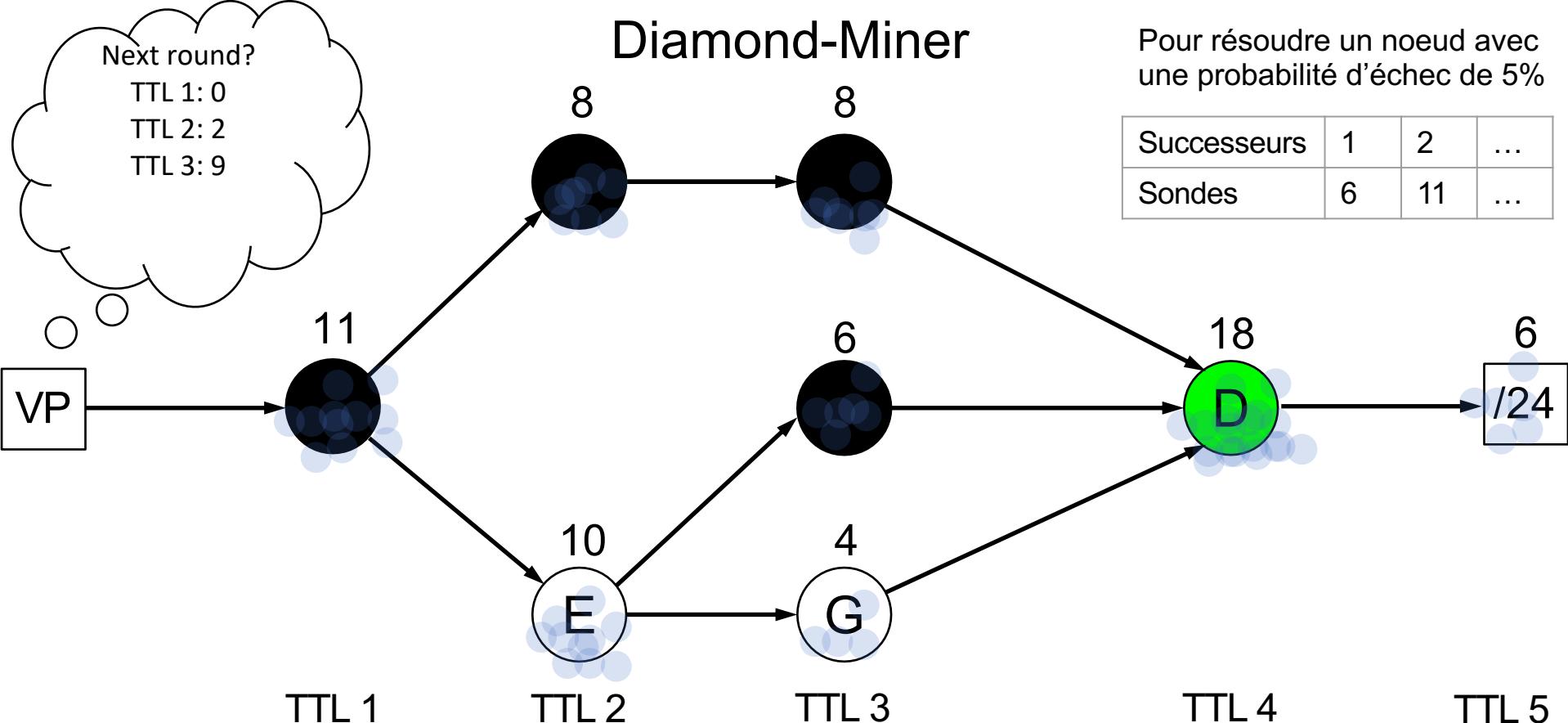
Next round?  
TTL 1: 0  
TTL 2: 2

Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%

Successseurs	1	2	...
Sondes	6	11	...

Round 3: calcul

# Diamond-Miner

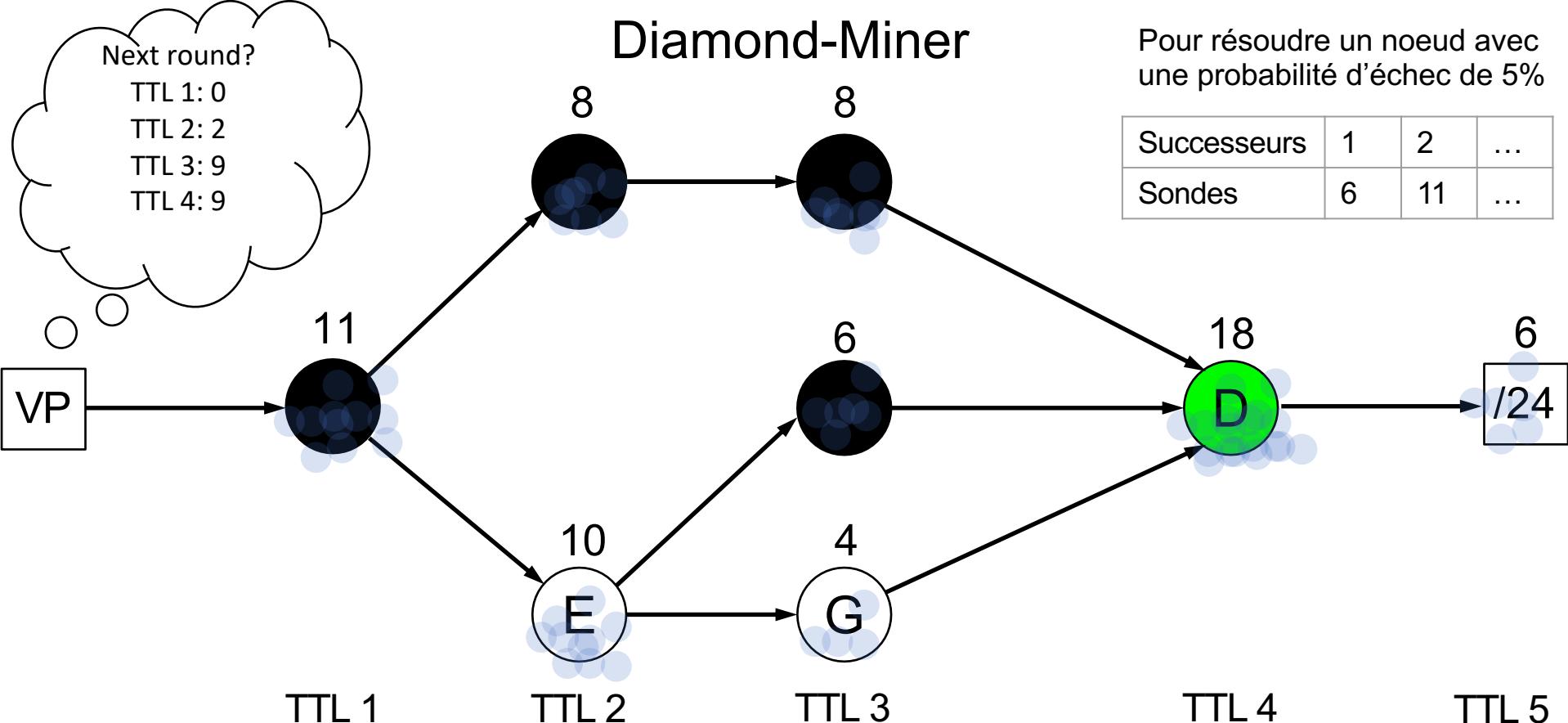


Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%

Successseurs	1	2	...
Sondes	6	11	...

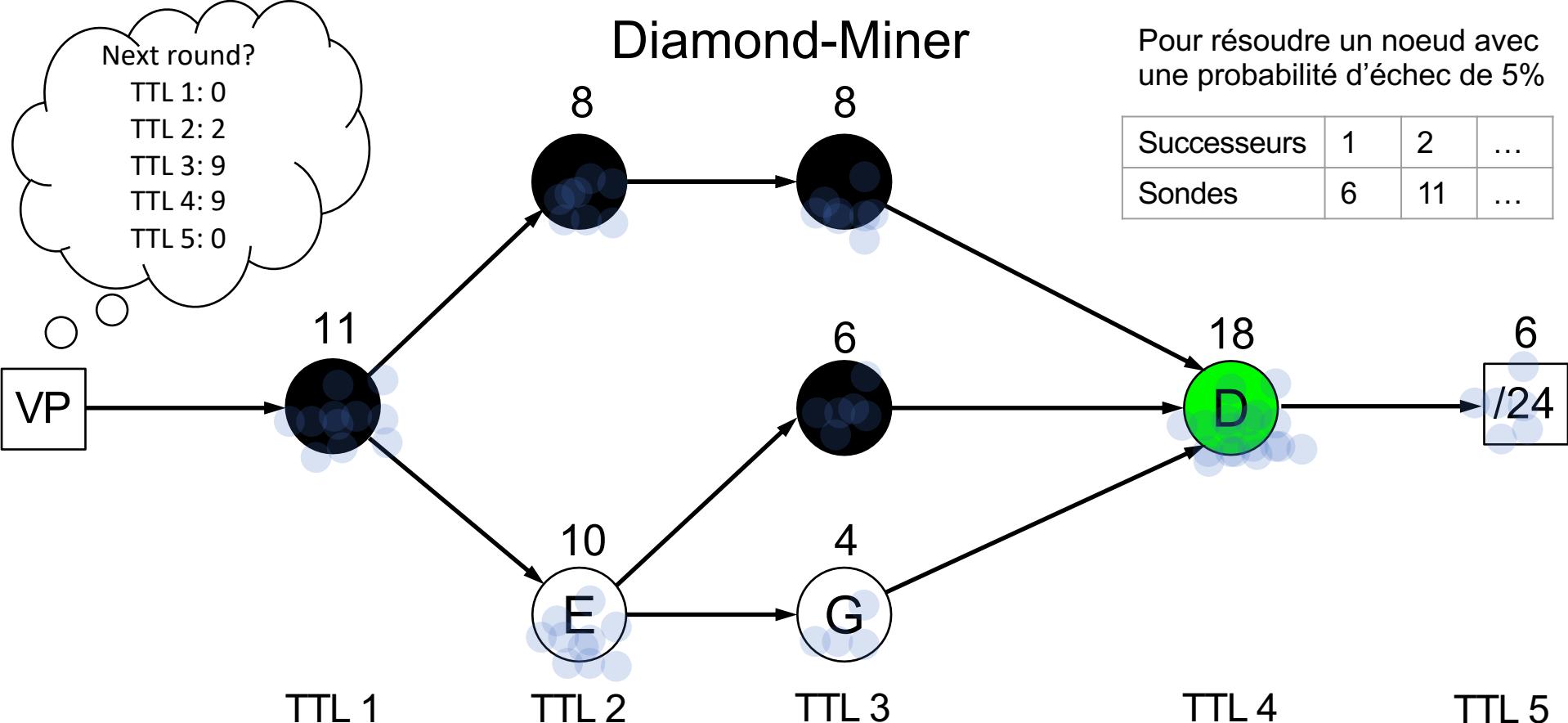
Round 3: calcul

# Diamond-Miner



Round 3: calcul

# Diamond-Miner



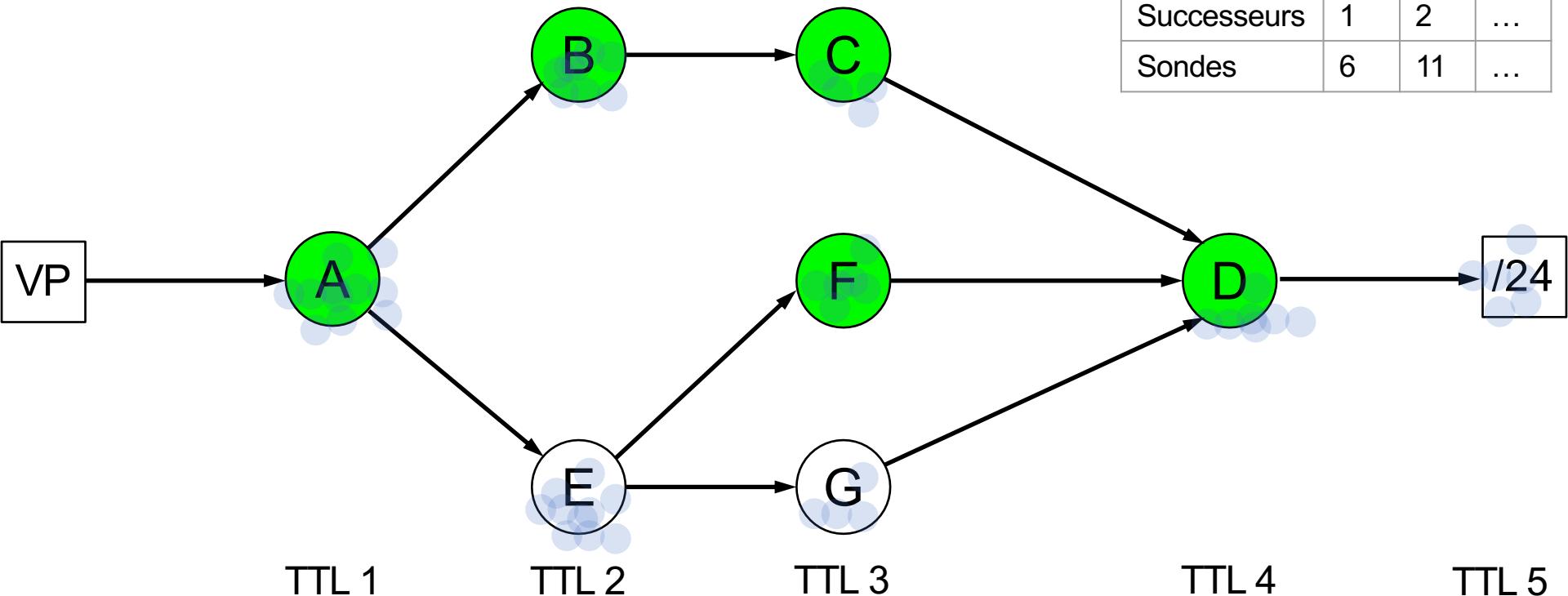
Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%

Successseurs	1	2	...
Sondes	6	11	...

Round 3: calcul

# Diamond-Miner

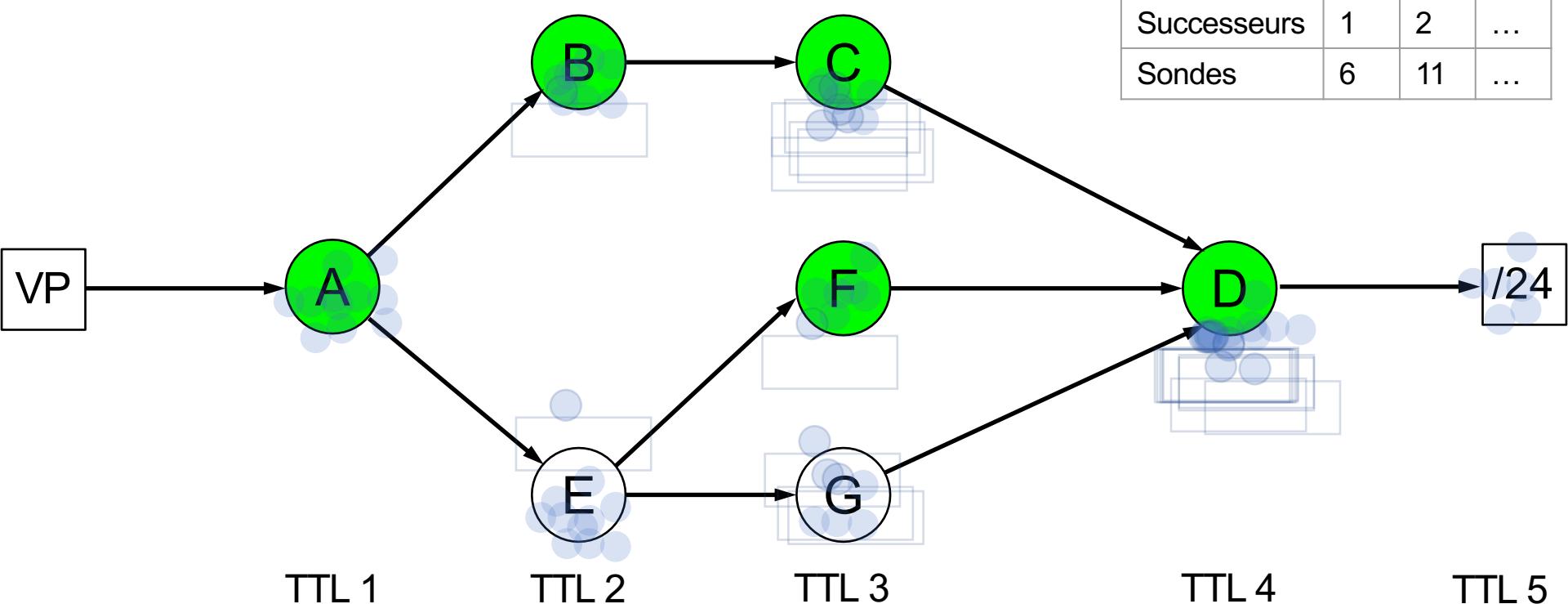
Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%



Round 3: envoi

# Diamond-Miner

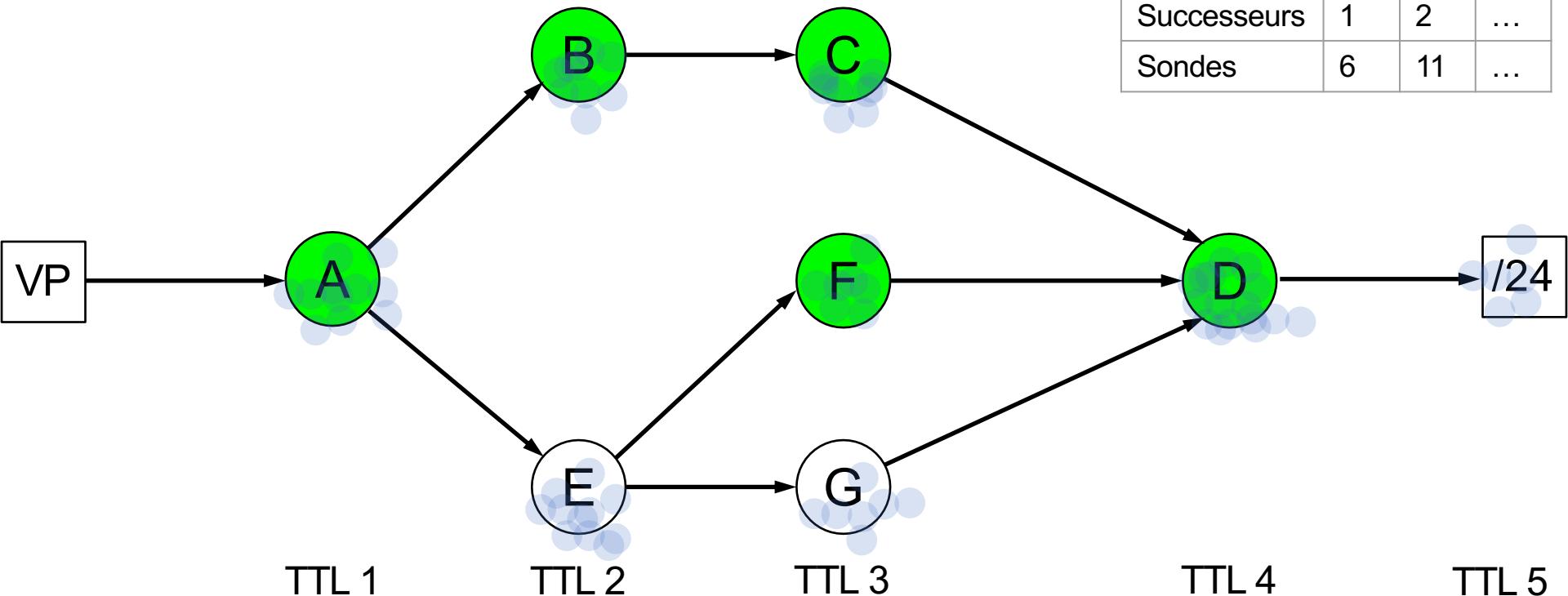
Pour résoudre un noeud avec une probabilité d'échec de 5%



Round 3: envoi

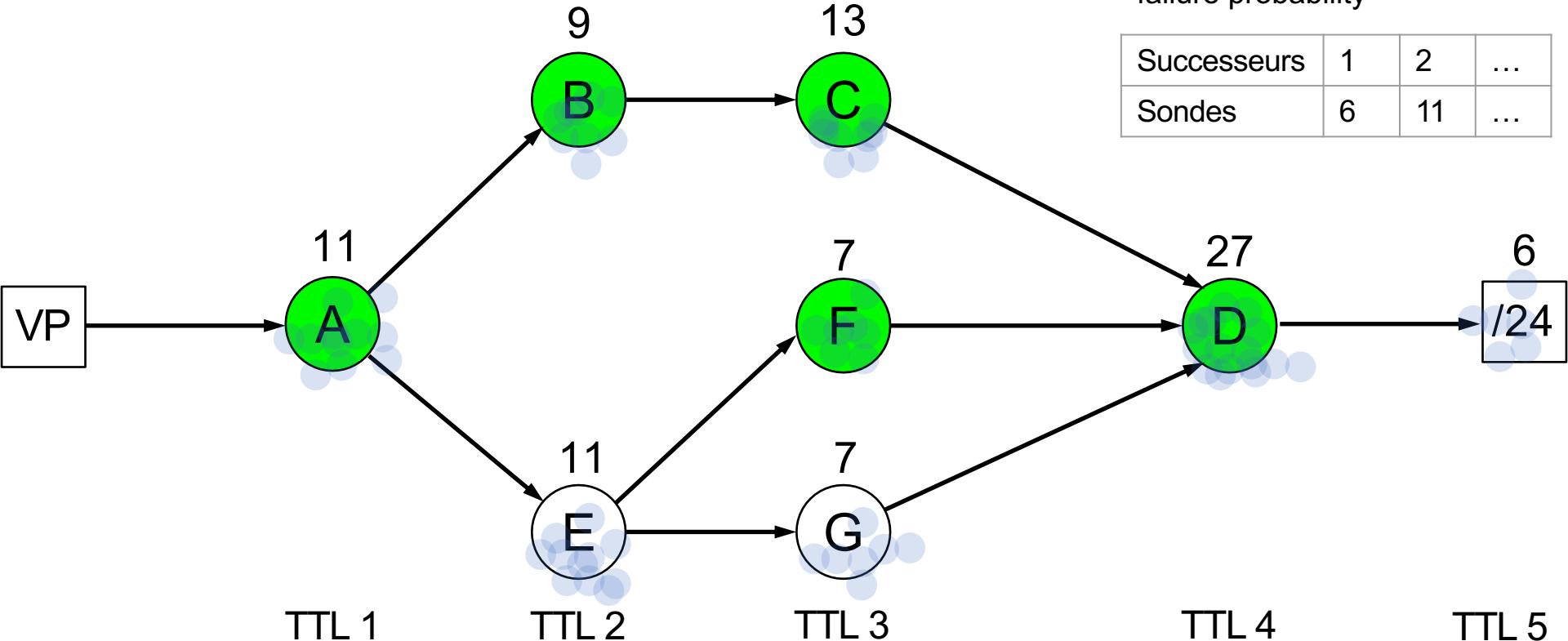
# Diamond-Miner

To resolve a node with 5% failure probability



Round 4: calcul

# Diamond-Miner

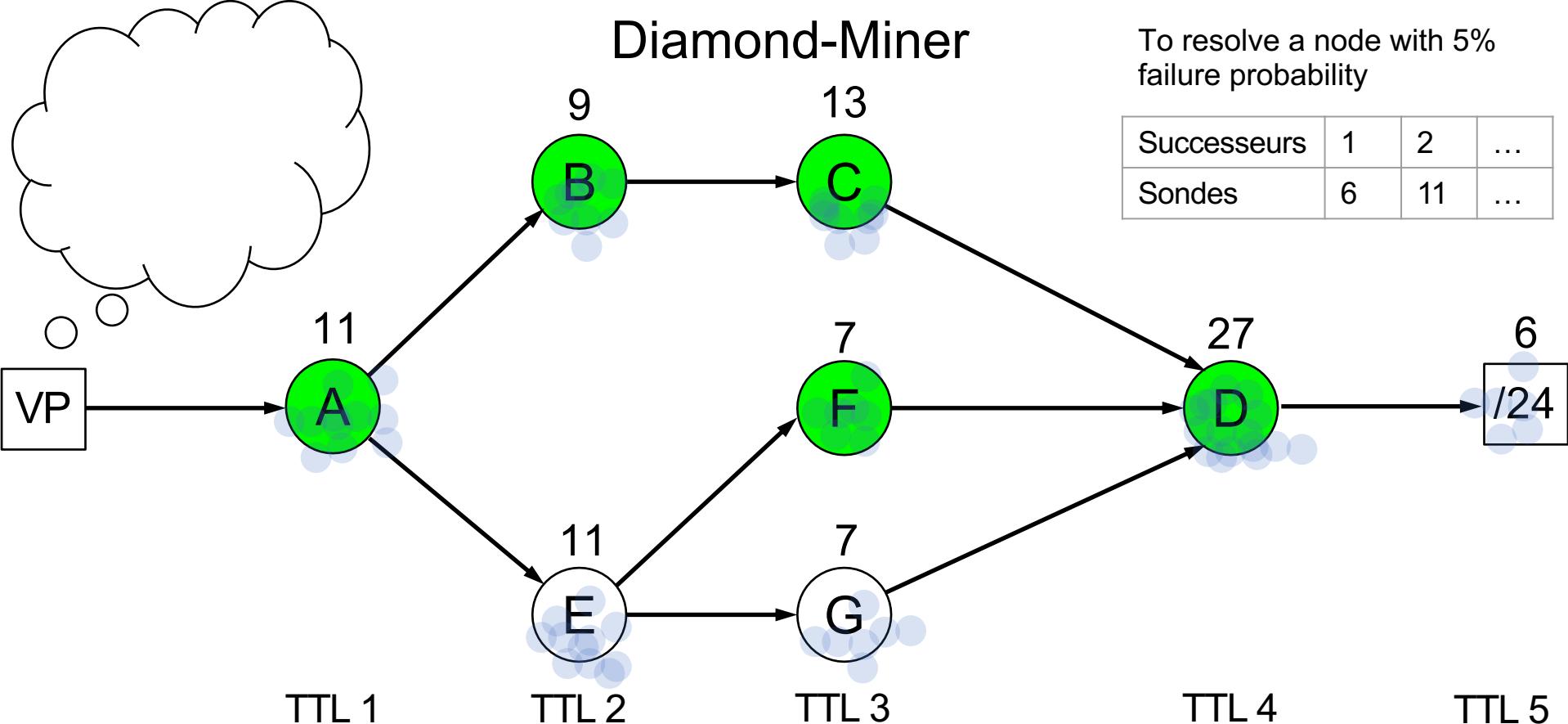


To resolve a node with 5% failure probability

Successseurs	1	2	...
Sondes	6	11	...

Round 4: calcul

# Diamond-Miner



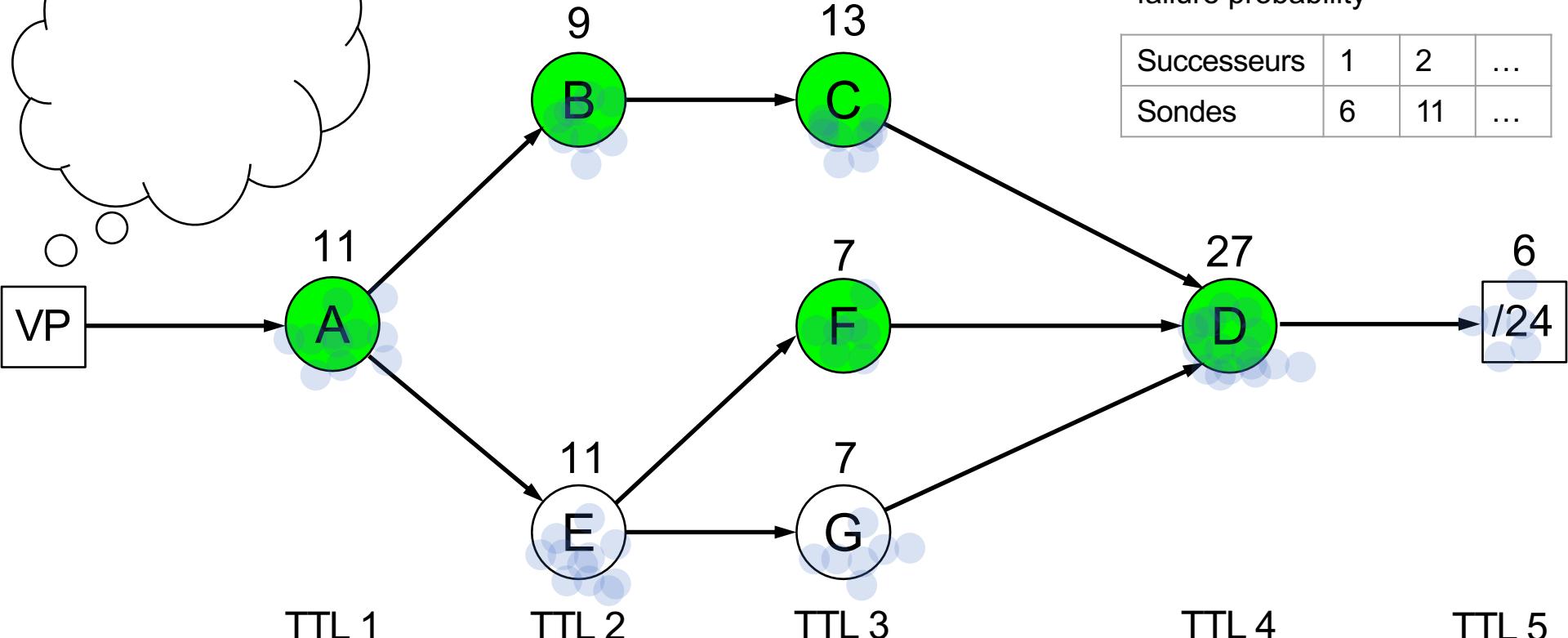
To resolve a node with 5% failure probability

Successseurs	1	2	...
Sondes	6	11	...

Round 4: calcul

Next round?

# Diamond-Miner

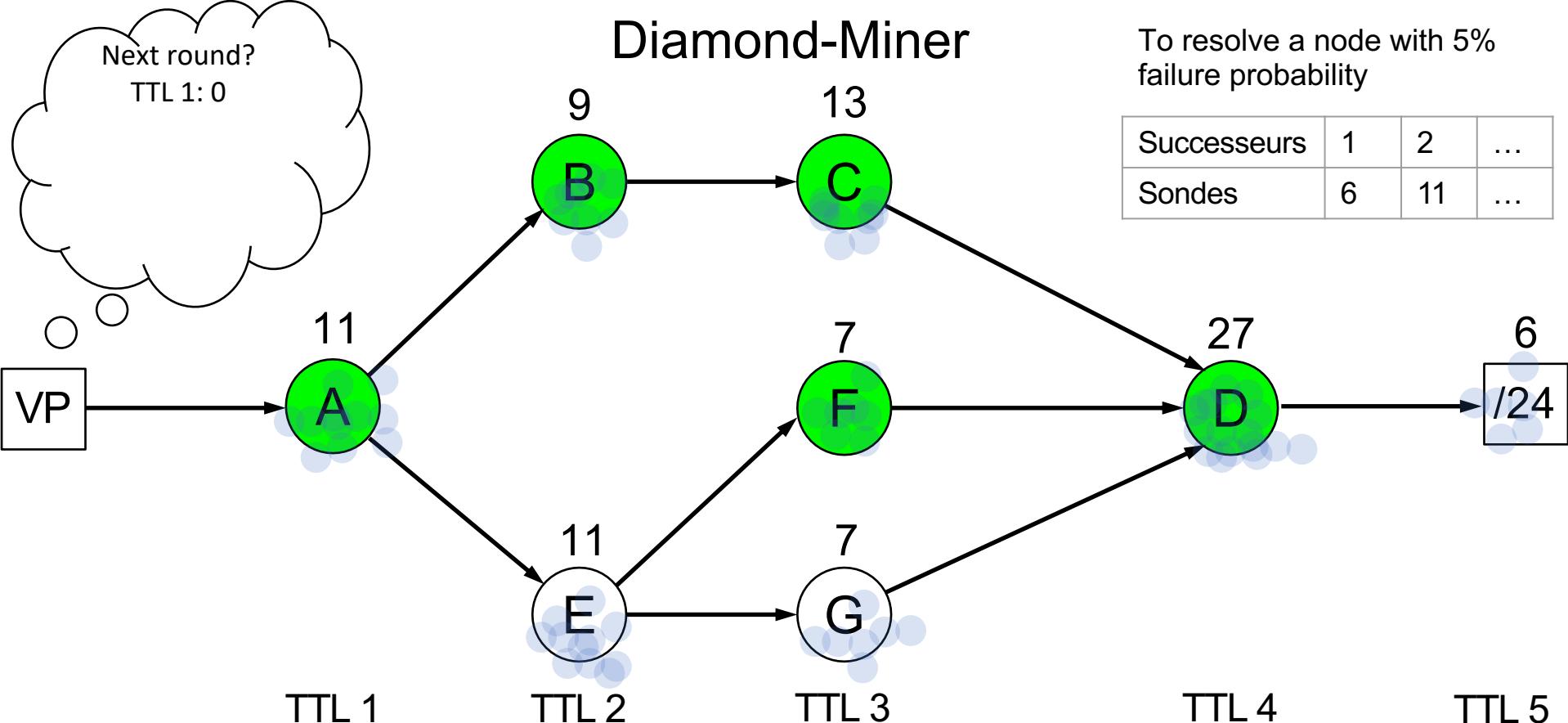


To resolve a node with 5% failure probability

Successseurs	1	2	...
Sondes	6	11	...

Round 4: calcul

# Diamond-Miner

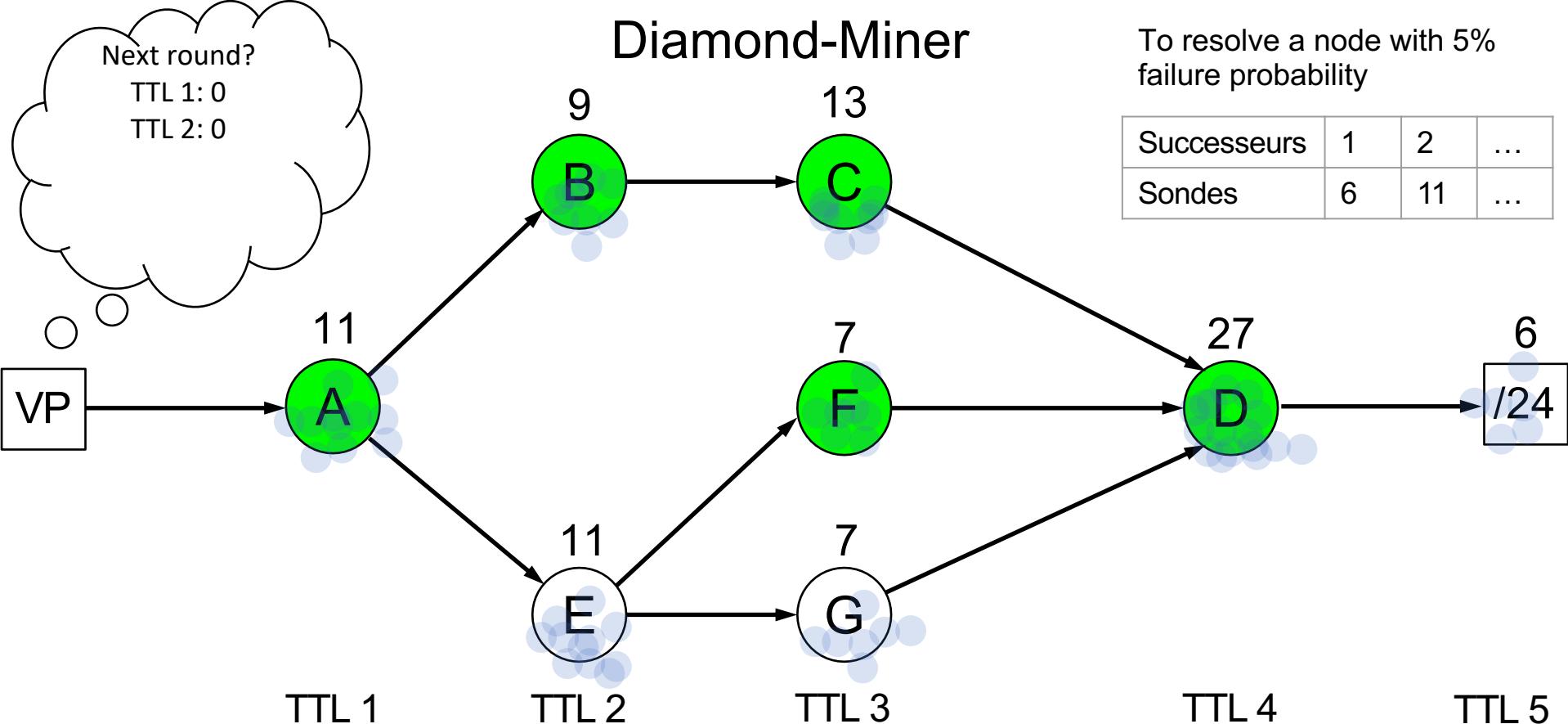


To resolve a node with 5% failure probability

Successseurs	1	2	...
Sondes	6	11	...

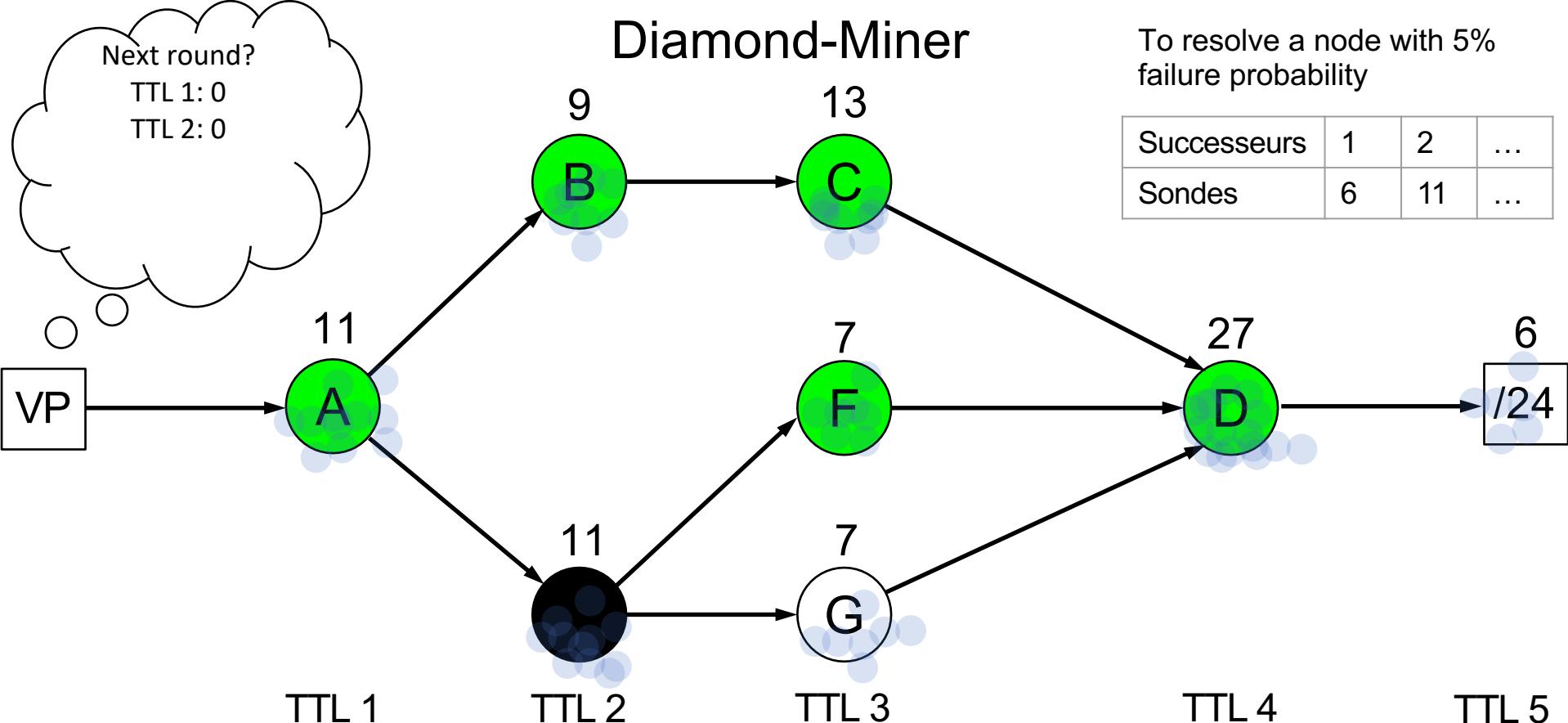
Round 4: calcul

# Diamond-Miner



Round 4: calcul

# Diamond-Miner

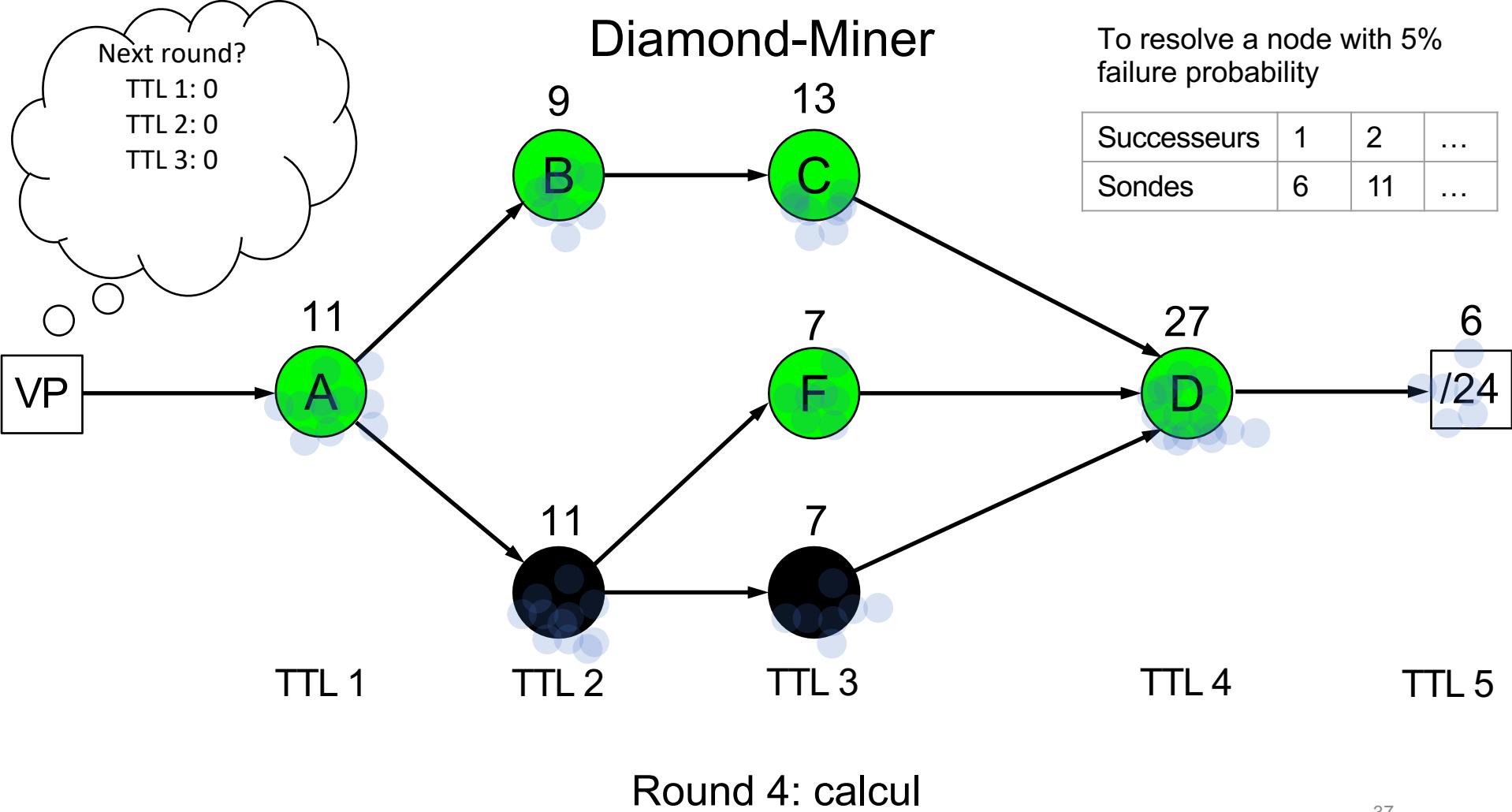


To resolve a node with 5% failure probability

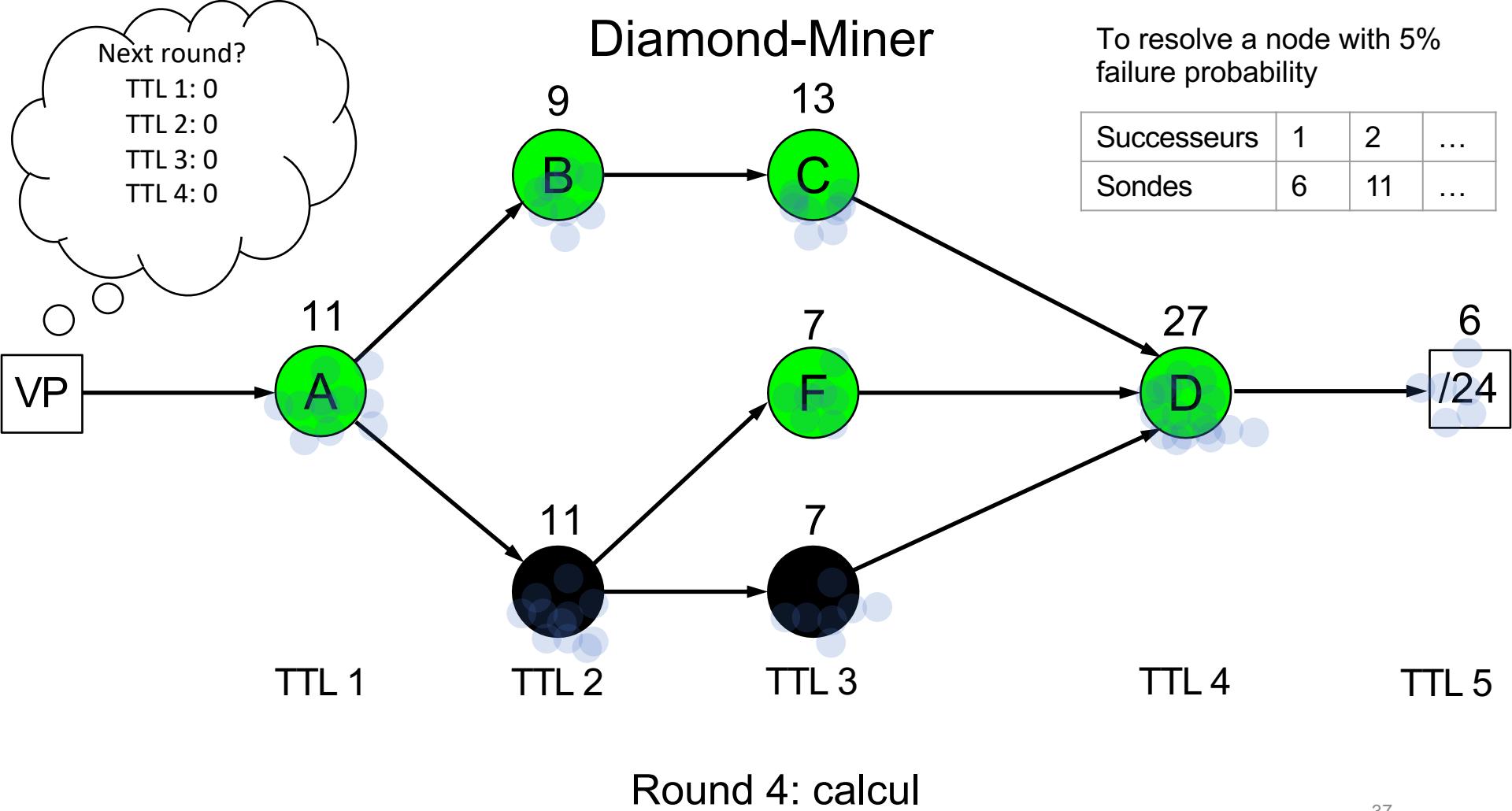
Successseurs	1	2	...
Sondes	6	11	...

Round 4: calcul

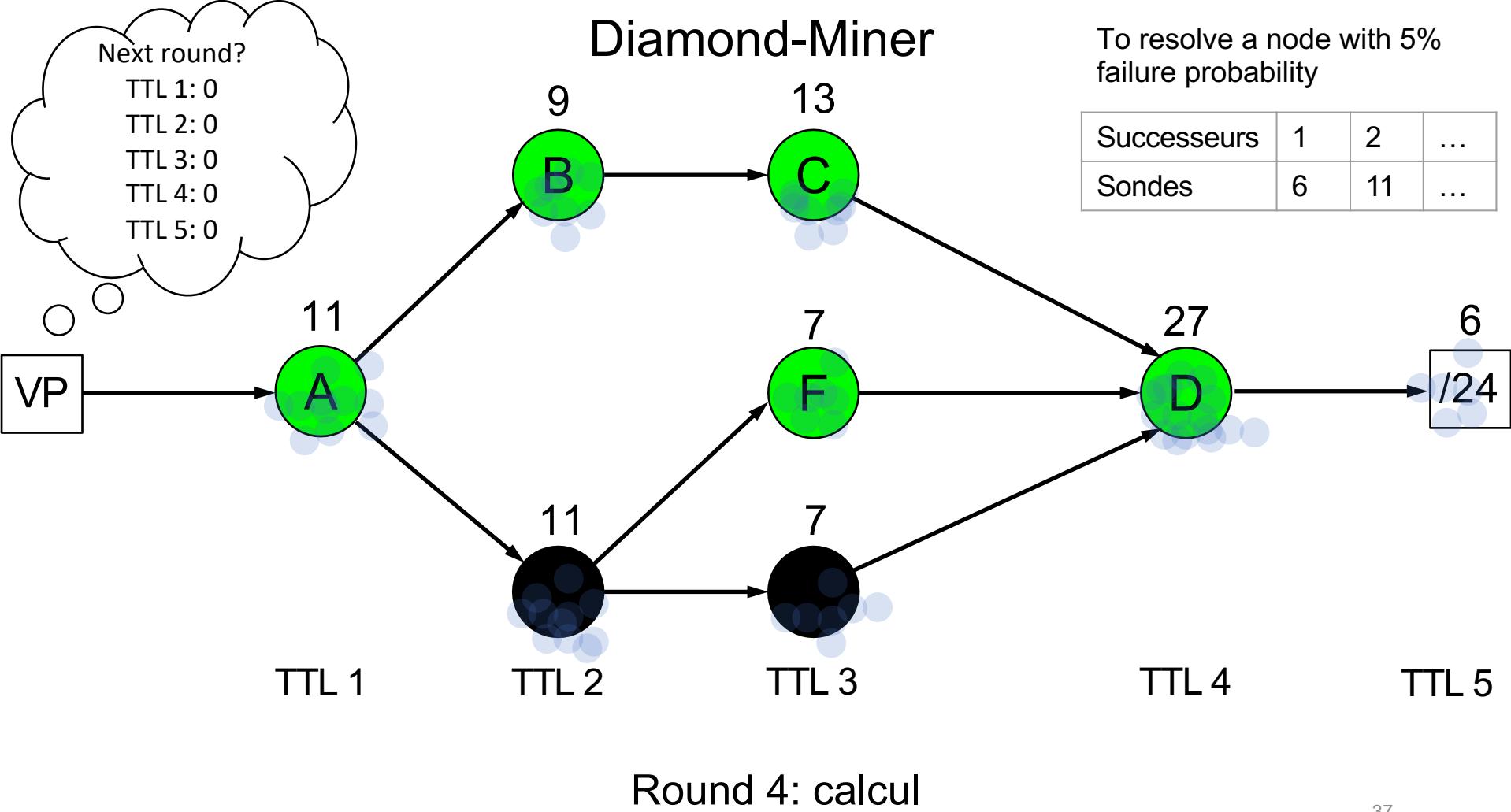
# Diamond-Miner



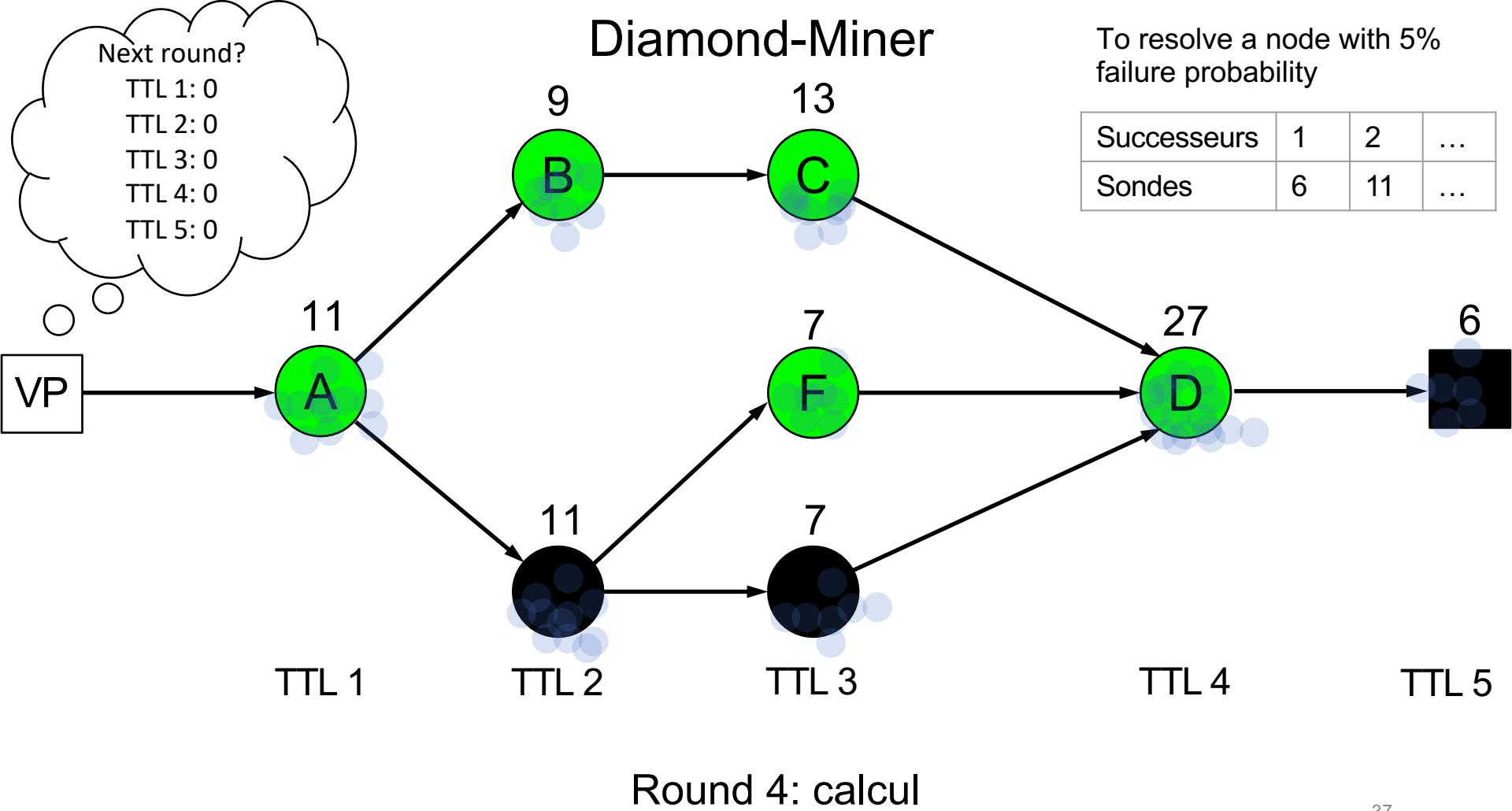
# Diamond-Miner



# Diamond-Miner



# Diamond-Miner



# Passage à l'échelle

# Passage à l'échelle

- Algorithme sur tous les préfixes /24 d'Internet en parallèle, plus de contrainte synchrone

# Passage à l'échelle

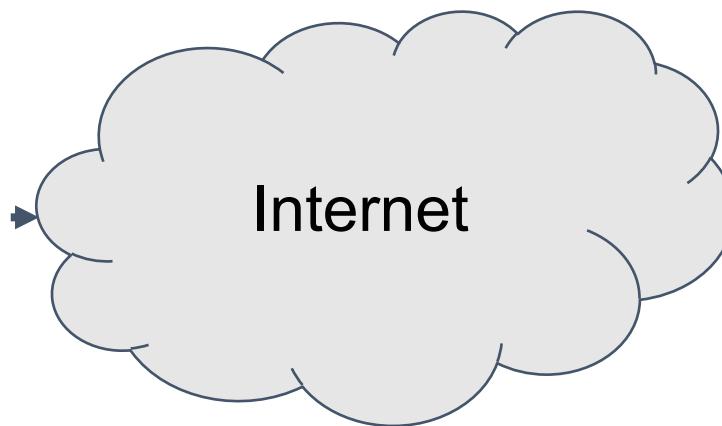
- Algorithme sur tous les préfixes /24 d'Internet en parallèle, plus de contrainte synchrone
- Encode toutes les informations nécessaires pour reconstruire la topologie à l'intérieur des sondes

# Sommaire

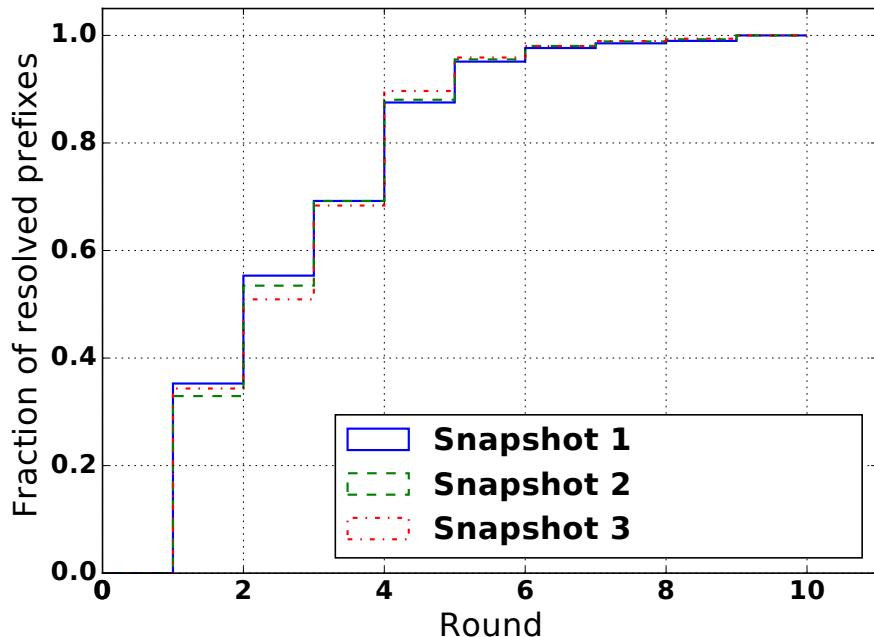
- Curriculum
- Diamond-Miner
  - **Résultats**
- Projet de recherche
- Conclusion

# Un point de mesure avec un haut taux de sondage

1 x 100,000 pps



# Evaluation (Nombre de rondes)



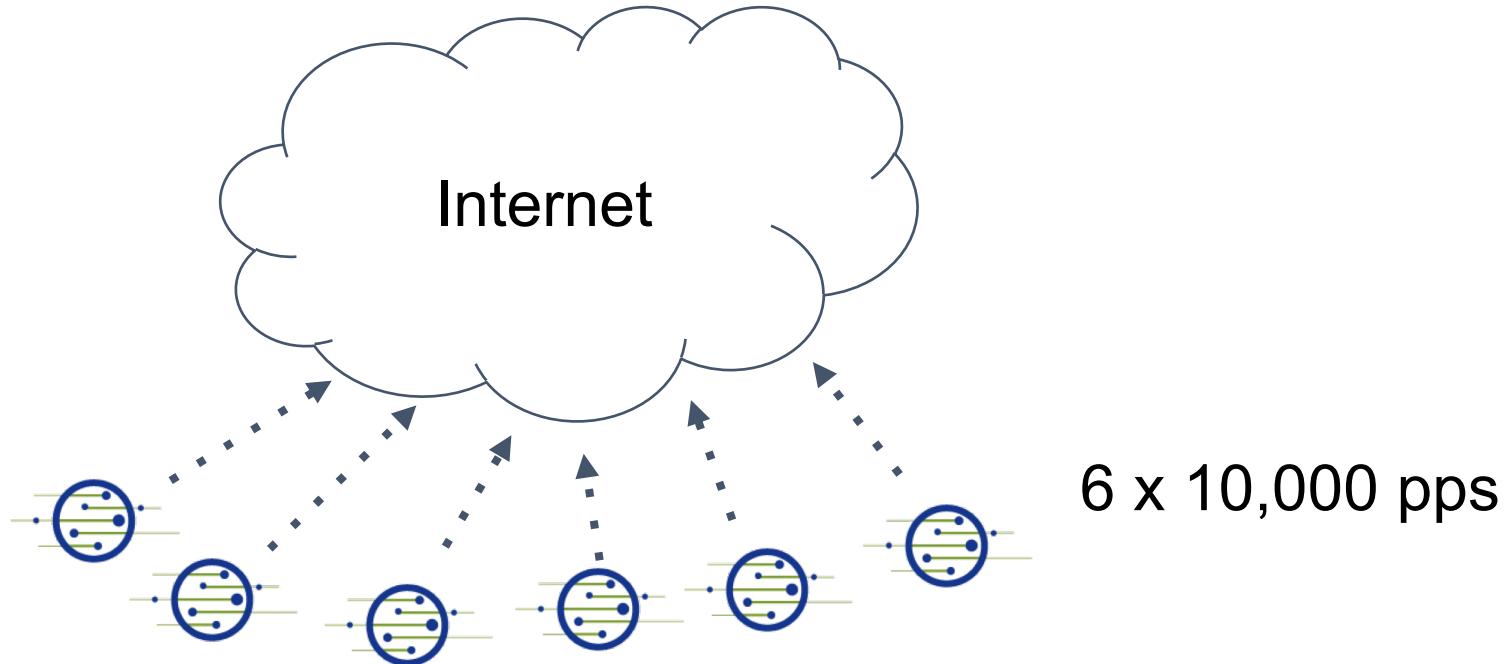
- 10 rondes → > 99% des préfixes /24 qui sont résolus

# Sondes envoyées et temps nécessaire pour résoudre tous les /24

	Sondes (milliards)	Temps
Multichemins classique (émulé)	5.9	64.3 années
Diamond-Miner	6.6	2.5 jours

# Points de mesures multiples

PlanetLab  
Europe



# Découvertes en une semaine

	Points de mesure	Noeuds (millions)	Liens (millions)	Sondes (milliard)
D-Miner	6	1.6	7.1	13.2
Ark	~110	1.9	4.3	5.9

# Découvertes en une semaine

	Points de mesure	Noeuds (millions)	Liens (millions)	Sondes (milliard)
D-Miner	6	1.6	7.1	13.2
Ark	~110	1.9	4.3	5.9

# Découvertes en une semaine

	Points de mesure	Noeuds (millions)	Liens (millions)	Sondes (milliard)
D-Miner	6	1.6	7.1	13.2
Ark	~110	1.9	4.3	5.9

64% de liens en plus!

# Présentations invitées

- Université de Liège (2020) (équipe de Benoit Donnet)
- Université de Strasbourg (2020) (équipe de Cristel Pelsser)
- USENIX NSDI (2020)
- University of California Berkeley (2020) (Nicholas Weaver et Vern Paxson)
- Google (2020) (Christophe Diot et Augustin Soule)
- Columbia University (2020) (équipe de Ethan Katz-Bassett)

# Autres contributions à la cartographie d'Internet

- Dernière évolution de l'outil traceroute (propriétés des graphes des topologies à répartition de charge) (IMC 2018)
- Limited Ltd., nouvelle technique de résolution d'alias (apprentissage automatique sur des séries temporelles) (PAM 2020)
- Approche par apprentissage par renforcement (soumis à CCR 2021)
- Géolocalisation, approche topologique (soumis à TMA 2021)

# Communauté

- Tout le code est disponible (et ce pour tous nos travaux) :

<https://gitlab.planet-lab.eu/cartography/>

<https://github.com/dioptra-io>

- Données utilisées par la communauté (IMC 2020)
- Système en production

# Sommaire

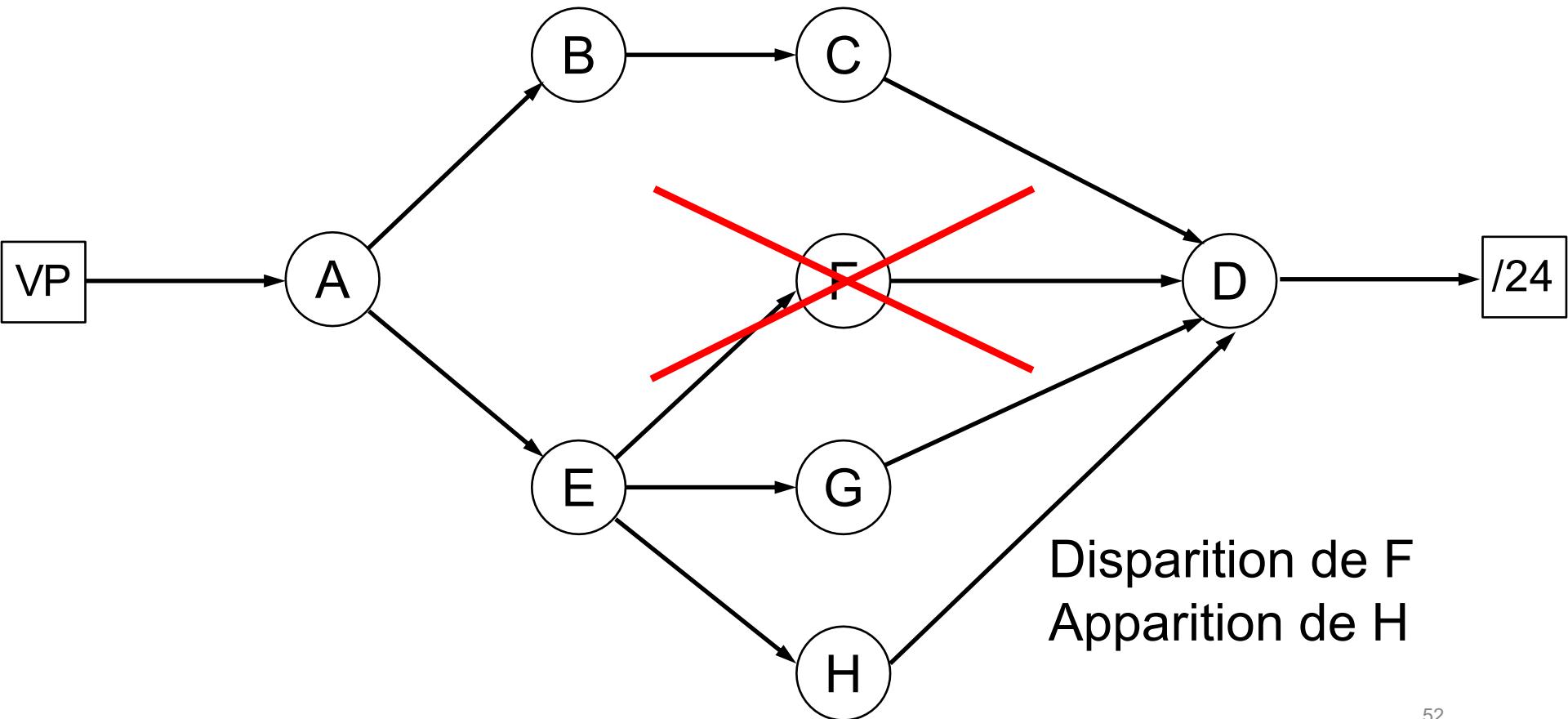
- Curriculum
- Diamond-Miner
- Projet de recherche
- Conclusion

# Capture multi-niveaux des dynamiques de la topologie d'Internet

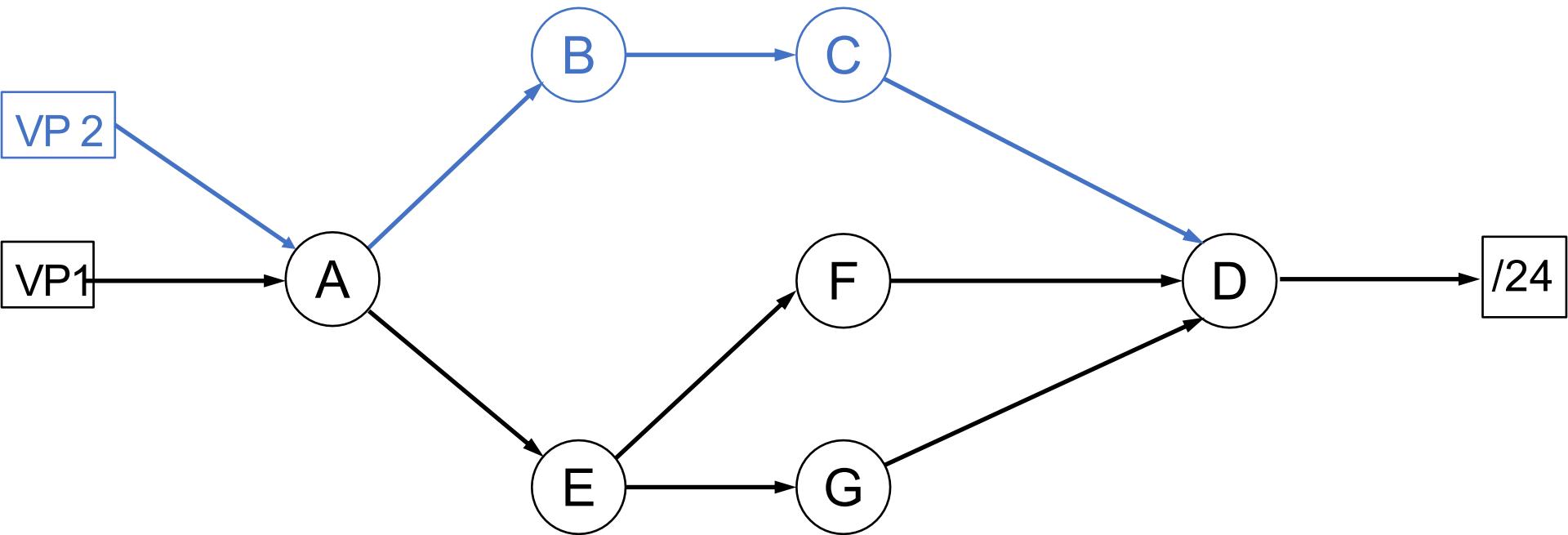
# Deux types de dynamique

- Dynamique de graphe
- Dynamique de routage

# Dynamique de graphe



# Dynamique de routage



VP1 n'a plus accès la route du haut  
VP2 utilise encore cette route

# Motivation

- Détection, propagation et prévention d'évènements
- Monitorer Internet dans sa globalité, à la fois pour les opérateurs et pour la communauté scientifique

# Aujourd'hui

- Vue IP multichemins plus complète, réduction des erreurs d'interprétation des dynamiques
- Systèmes qui cartographient Internet en repartant de zéro à chaque nouveau sondage ( $> 1$  jour)
- Dynamiques de courte durée à large échelle opaques à la communauté

# Défis

- Comment caractériser les dynamiques?
- Comment optimiser les sondes à envoyer dans le réseau pour maximiser la découverte de dynamiques?

# Minimiser le nombre de sondes

- Apprentissage automatique (dynamiques récurrentes)
  - Apprentissage sur des graphes
  - Apprentissage des données de routage
- Séries temporelles de mesures de latence et théorie des graphes (dynamiques soudaines)
  - Détection de ruptures
  - Centralité, graphes dynamiques

# Intégration dans les laboratoires du CNRS

- LAAS: Dynamiques dues au SDN (Software Defined Networking) dans les IXP (Internet eXchange Points)
- ICube: Dynamiques plan de contrôle BGP (Border Gateway Protocol)
- LORIA: Détection d'anomalies

# Sommaire

- Curriculum
- Diamond-Miner
- Projet de recherche
- Conclusion

# Mes publications dans les conférences majeures de la communauté (d'après [csrankings.org](https://csrankings.org))

- USENIX NSDI (réseaux et systèmes distribués, généraliste) (Diamond-Miner)
- ACM SIGCOMM IMC (spécialisée dans les mesures d'Internet) (Multilevel MDA-Lite Paris Traceroute)

# Collaborations actives

- Ethan Katz-Bassett (**ACM SIGCOMM Rising star award 2019**, Columbia University)
- Robert Beverly (Naval Postgraduate School et National Science Foundation (**NSF**))
- Reza Rejaie (**IEEE fellow**, University of Oregon)
- Dave Choffnes (Northeastern University)
- Vasileios Giotas (Lancaster University)
- Italo Cunha (Universidade Federal de Minas Gerais)
- Timur Friedman (Sorbonne Université)

# Travaux soumis

- Longitudinal Study of a Geolocation Database (SU/NPS) (TMA 2021, Premier auteur)
- Zeph & Iris Map the Internet: A resilient reinforcement learning approach to distributed IP route tracing (SU/NPS) (ACM SIGCOMM CCR (journal), second auteur)

# Travaux en cours (soumission prévue < 3 mois)

- Internet scale Reverse Traceroute (Northeastern University) (IMC, Premier auteur)
- Diamond-Miner: Comprehensive Discovery of the Internet's Topology Diamonds (SU/NPS) (ToN Premier auteur)

# Autres

- Présentations industrielles (IETF, RIPE Meeting, Google)
- Rayonnement scientifique (blogs APNIC, RIPE)

# Communauté

- Tout le code est disponible (et ce pour tous nos travaux) :

<https://gitlab.planet-lab.eu/cartography/>

<https://github.com/dioptre-io>

- Données utilisées par la communauté (IMC 2020)
- Système en production