



# SÉMINAIRE PACK QUANTIQUES



# AQUARE

Pascale  
BENDOTTI

Krisztian  
BENYO

Joseph  
MIKAEL

# AQUARE : L'histoire accélérée

2020 Début de l'histoire par l'entremise de Atos et grâce au déclenchement de la région

## Panier côté EDF

40 d'expertise sur le développement de méthodes numériques industrielles

Des idées sur l'utilisation de solvers MIS à l'industrie

Une volonté de se rapprocher du hardware

## Actif côté Pasqal / IOGS

40 ans d'expertise de l'IOGS sur les technologies quantiques


Une machine de laboratoire et pas de machines prototype

Une volonté de se rapprocher d'un industriel qui sait parler aux chercheurs

MATCH!

Sentiment dans la communauté :  
optimisme  
exacerbé/pessimisme  
acerbe

### Will Quantum Computing Change the World?

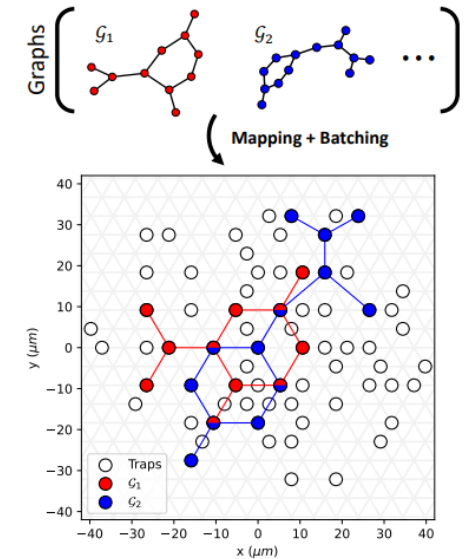
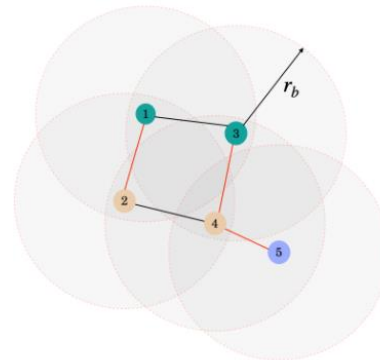
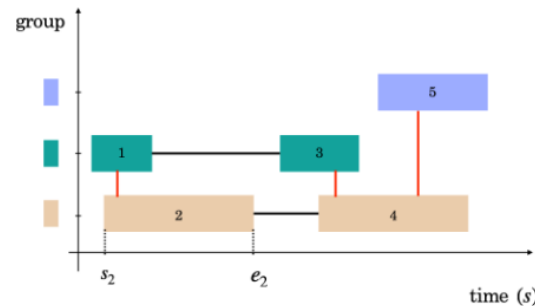
 Fairview Capital · Follow  
Published in Fairview Capital · 9 min read · May 5, 2020

Quantum computing: Opening new realms of possibilities

Jjy Tom Garlinghouse for the Office of the Dean for Research on Jan. 21, 2020, 7:40 a.m.

# AQUARE : L'histoire accélérée

- 2020 Début de l'histoire par l'entremise de Atos et grâce au déclenchement de la région
- 2021 2022 Définition d'un encodage d'un problème d'optimisation industriel sur la machine Pasqal



# AQUARE : L'histoire accélérée

- 2020 Début de l'histoire par l'entremise de Atos et grâce au déclenchement de la région
- 2021 2022 Définition d'un encodage d'un problème d'optimisation industriel sur la machine Pasqal
- 2022 -2023 : Diversification dans nos actions, nos partenariats

## Côté EDF

Développement de méthodes systématiques d'encodage de problèmes industriels sur machines analogiques

Développement de partenariats avec d'autres startups (Quandela, A&B)

## Côté Pasqal / IOGS

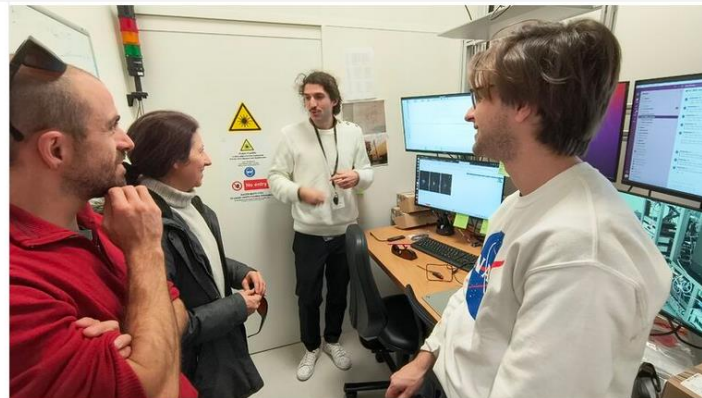
Développement de partenariats avec d'autres industriels

Développement de machines

# AQUARE : L'histoire accélérée

- 2020 Début de l'histoire par l'entremise de Atos et grâce au déclenchement de la région
- 2021 2022 Définition d'un encodage d'un problème d'optimisation industriel sur la machine Pasqal
- 2022 -2023 : Diversification dans nos actions, nos partenariats

2024 l'XP



 · 17 comments · 8 reposts



Like



Comment



Repost



Send

 12,136 impressions

[View analytics](#)

# AQUARE : L'histoire accélérée

Actif EDF

20

Agents impliqués à temps partiel

5

partenariats ac fabricants français

➤ 20 papiers de recherche en quantique

➤ + 5 à prévoir dans les 6 mois

Actif côté Pasqal

30+ clients

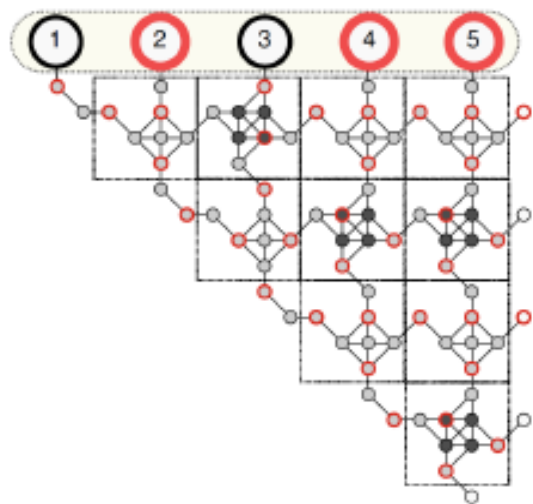
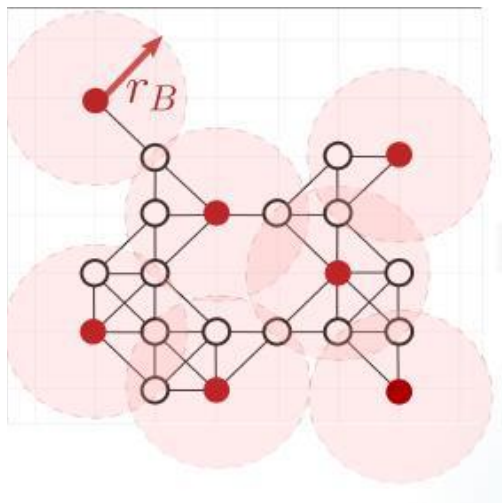
350+ qubits

30+ patents & applications  
800+ publications

250+ employees

19 nationalities, present in 8 countries

Full-Stack quantum hardware and software today  
Practical quantum advantage in 2024

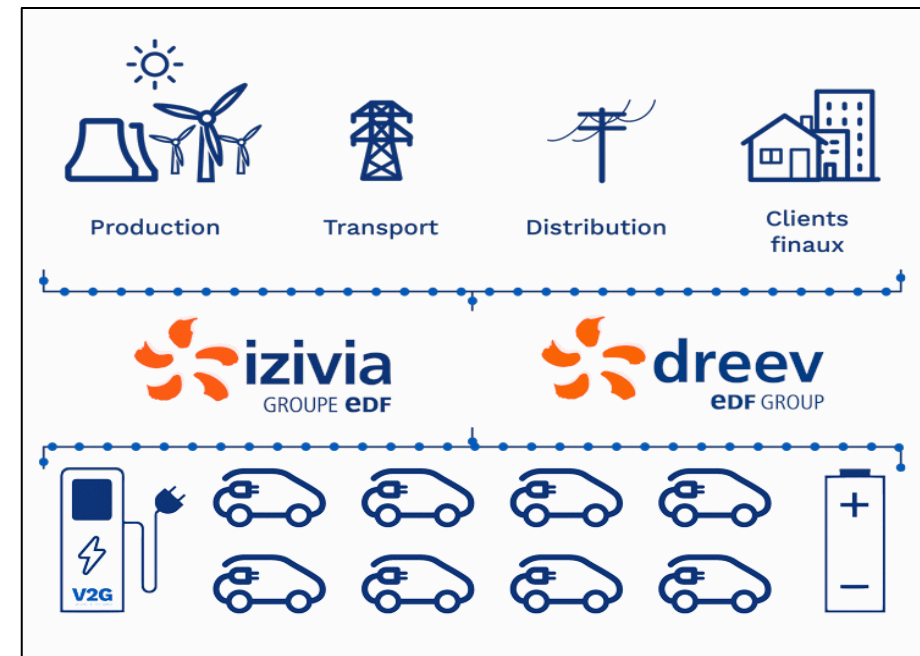


## AQARE en détail

# Problématique EDF

*Smart Charging* pour le routage de véhicules électriques vers les bornes les moins occupées

- avec des règles de priorité
- *Smart charging* optimal pour optimisation d'un grand nombre de charges/décharges de véhicules électriques pour contribuer à la stabilité de la fréquence du réseau
  - **V2G\_FCR** (Frequency Containment Reserve)





# Optimisation du temps de chargement

Minimisation du temps de charge totale pondérée

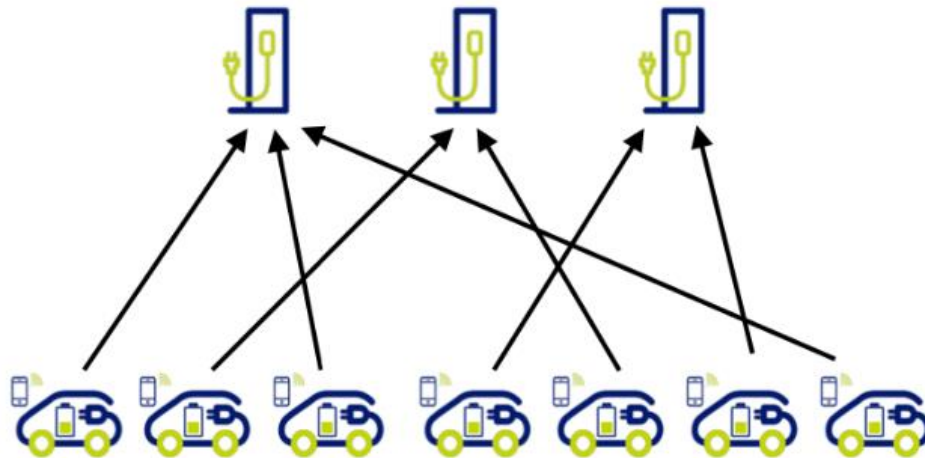
On dispose d'un ensemble de  $n$  tâches de charge, chacune avec une durée  $t_i$  spécifique, ainsi qu'une priorité

On nous donne également un ensemble de  $k$  points de charge

En indiquant le temps d'achèvement de l'emploi  $i$  avec  $C_i$ , l'objectif est de minimiser le temps total pondéré d'achèvement

$$\min \sum_{i \in I} w_i \cdot C_i$$

Problème classique d'ordonnancement pondéré

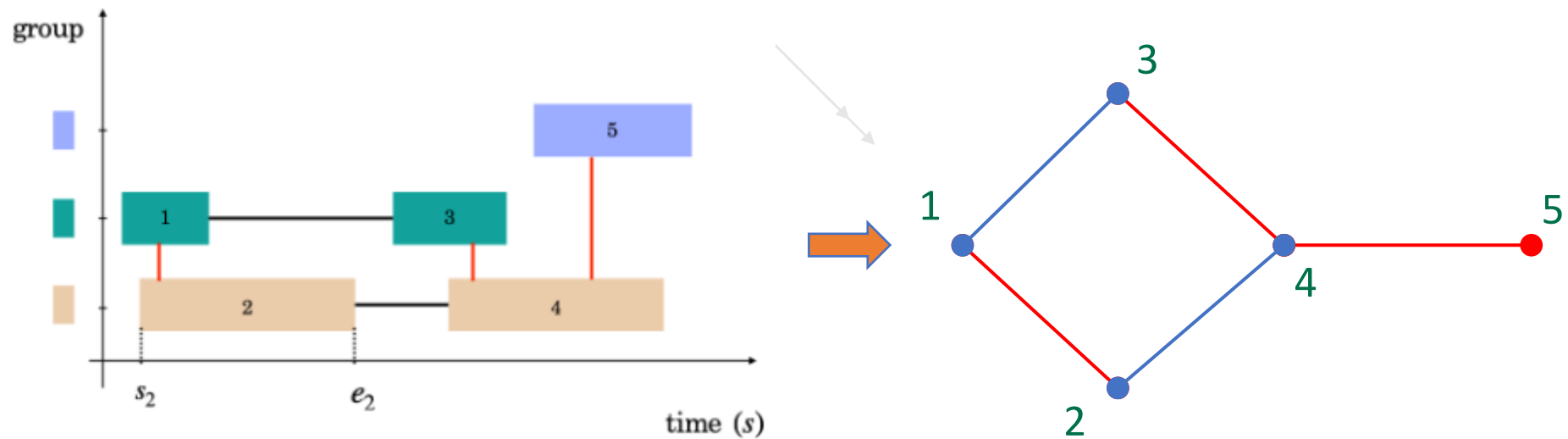


# Du problème de recharge à un problème de graphe PASQAL

On peut traduire le problème de *smart charging* sous la forme d'un graphe de contraintes :  
Les sommets correspondent à chaque intervalle du problème (chaque tâche de chargement)

Une arête est tracée entre deux sommets si :

1. Les intervalles correspondants se chevauchent dans le temps
2. Les intervalles correspondants appartiennent au même groupe



L'objectif est de trouver un ensemble indépendant maximal dans le graphe, correspondant à une solution optimale réalisable au problème d'ordonnancement des intervalles de groupe

# Unit-Disk Graphs et le problème Maximum Independent Set

On considère un cas special de graphes

Un graphe Unit Disk (UD) est un graphe qui peut être plongé dans le plan euclidien 2D s.c.  
Deux sommets sont reliés par une arête s'ils sont séparés par une distance inférieure à un rayon unitaire  $r$ .

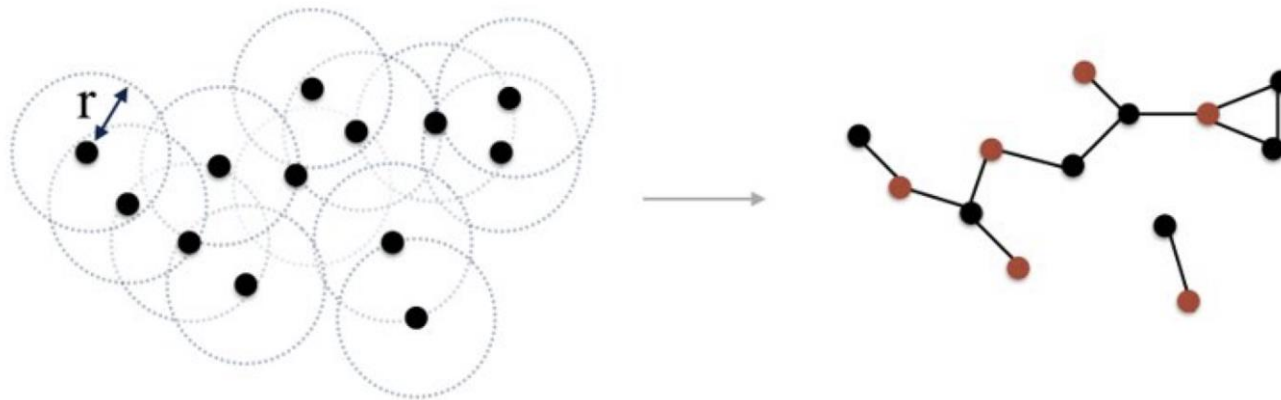
Pour les graphes UD, l'encodage à l'aide d'atomes de Rydberg est natif et sans surcharge :

Chaque sommet peut être représenté par un atome et la connectivité matérielle est en correspondance 1-à-1 avec la connectivité UD.

Un ensemble indépendant (IS) est un sous-ensemble de sommets dans le graphe  $G$  tel qu'il n'y a pas deux sommets adjacents.

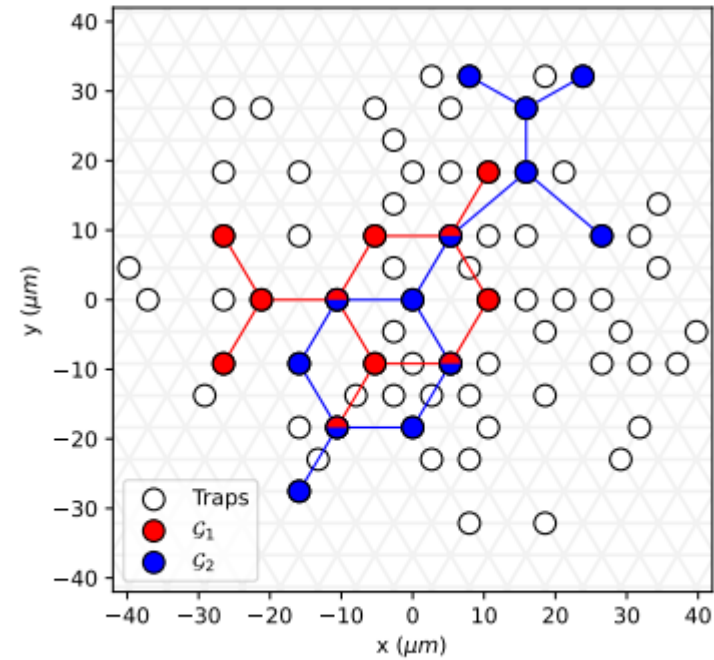
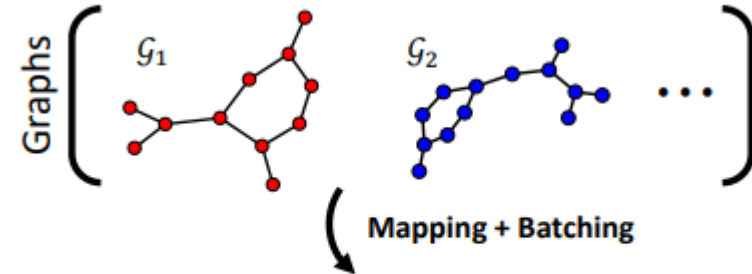
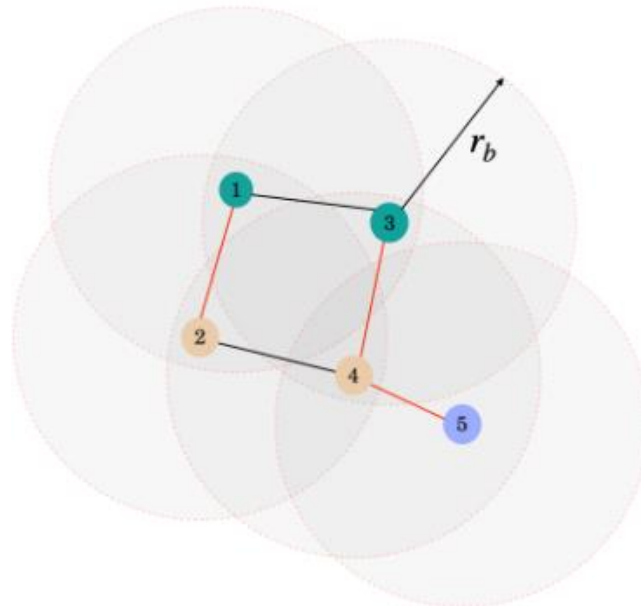
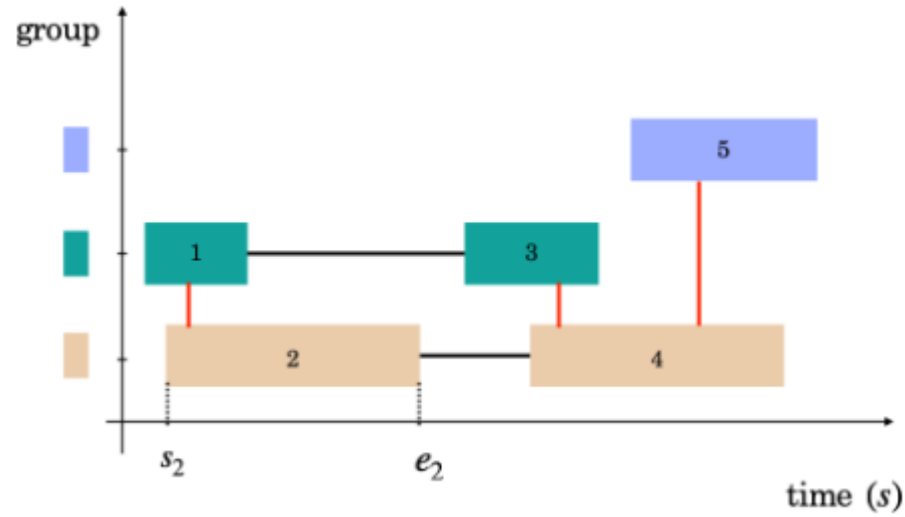
*Le problème de Maxi Independent Set consiste à trouver un IS de cardinalité maximale.*

Problème NP hard



# Implementation

Encodage du graphe de problèmes en tant que graphe Unit Disk pour la mise en œuvre de la machine



# Résultats expérimentaux

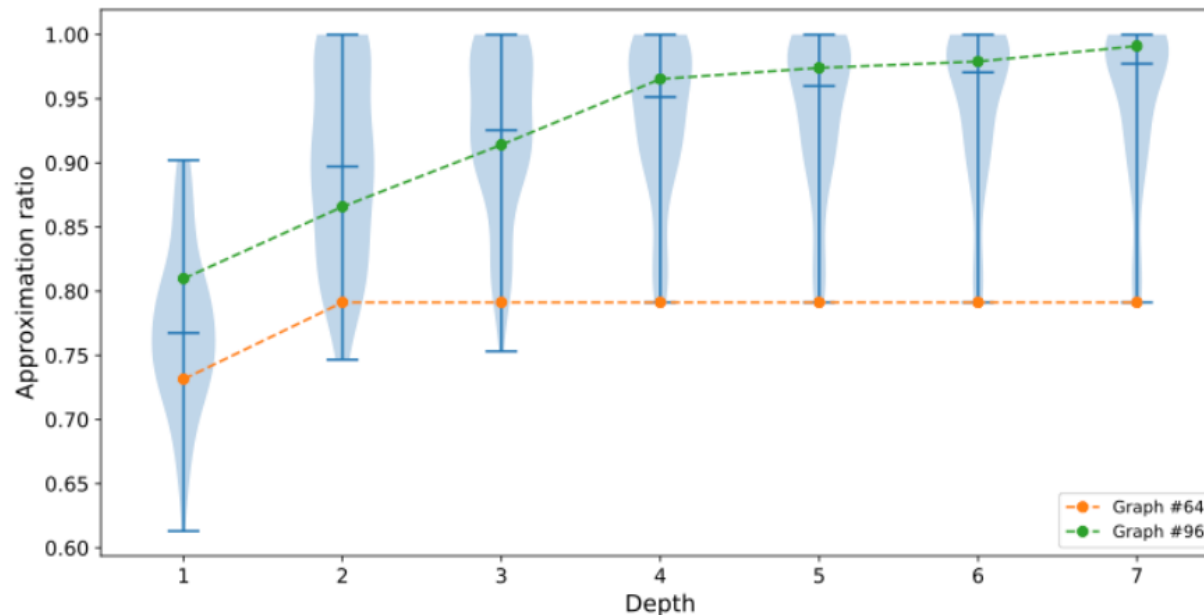
84 graphiques extraits de 2250 chargements du réseau Parisien Belib1

L'algorithme adiabatique quantique a été déployé pour les essais

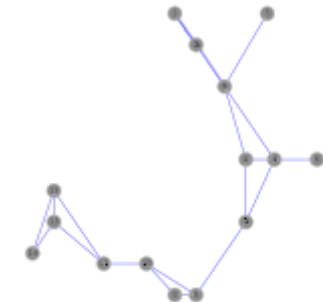
Un algorithme hybride variationnel (quantique-classique) pour les problèmes combinatoires

Jusqu'à 7 architectures de couches étudiées. Les graphiques du pire scénario nécessitent une analyse plus approfondie.

Optimisation de l'œuf appliquée avec évolution différentielle pour éviter les minima locaux.

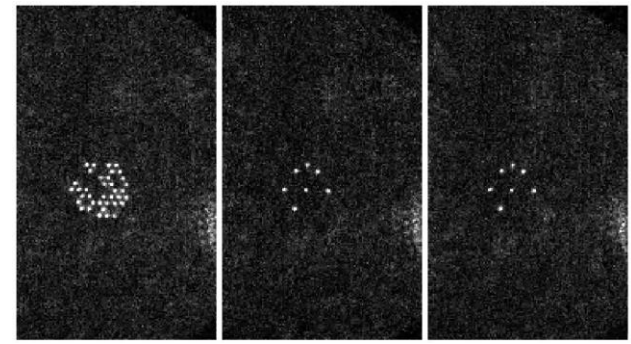


(b) Graph #96.



(c) Graph #64.

# Résultats : Mise en œuvre machine

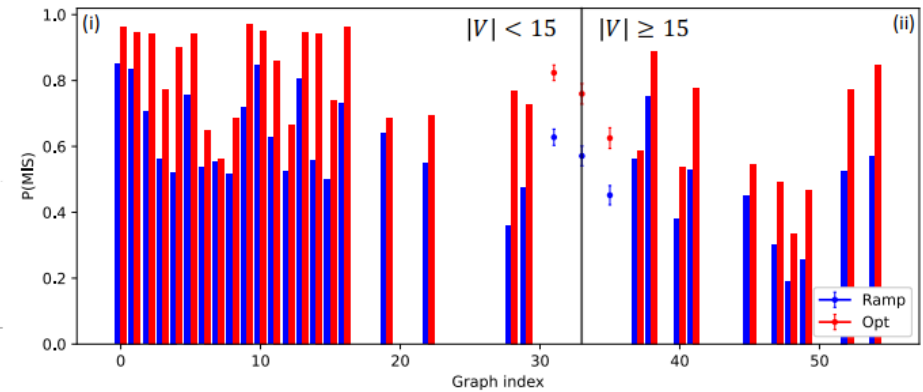
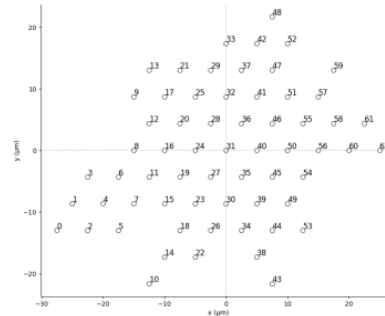
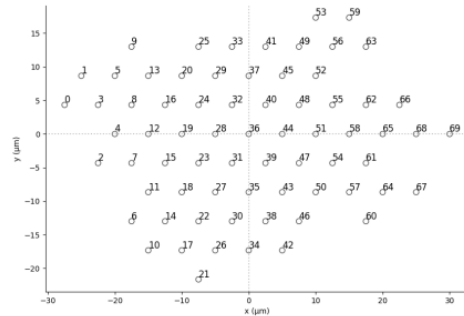


33 graphes extraits de la base de données (tailles 9 à 23 nœuds)

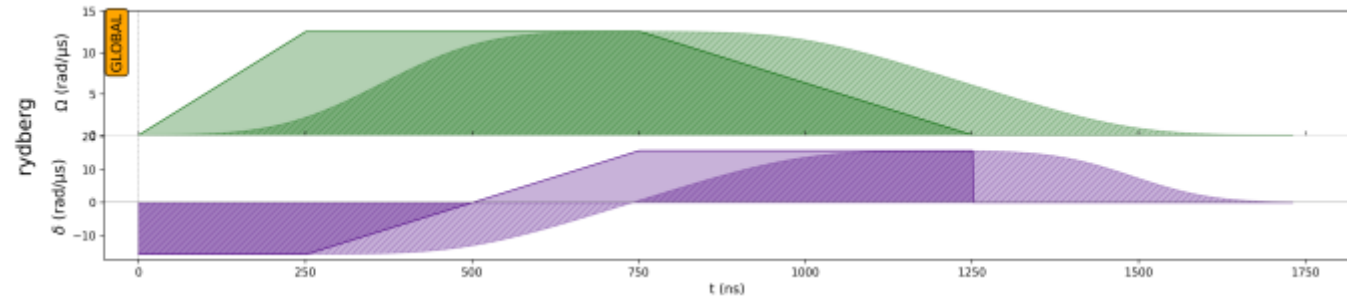
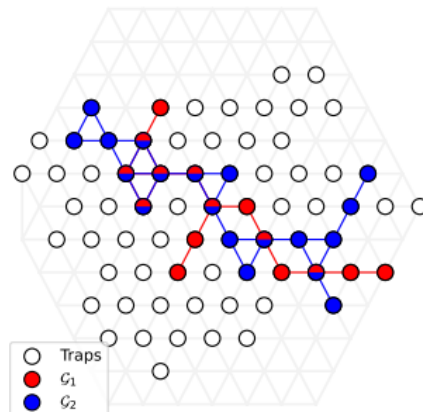
L'algorithme adiabatique quantique est choisi :

Une approche en rampe pour faire évoluer les deux paramètres d'impulsion laser

Les impulsions initiales et optimisées montrent de bonnes probabilités de trouver la solution avec seulement 15 à 30 exécutions de machines.



(b) Layout 1



# Conclusions on AQARE



Deux problèmes stylisés ont été étudiés dans le domaine de la recharge intelligente des véhicules électriques dans le cadre de cette collaboration entre EDF et Pasqal

Des implémentations quantiques efficaces sur le plan matériel ont été proposées, étudiées et mises en œuvre sur un ensemble de données réelles sur la recharge des véhicules électriques (sur 2250 instances).

Les algorithmes quantiques obtiennent un taux d'approximation élevé (>98 %) de manière cohérente

Les premiers résultats sont comparables aux schémas d'approximation classiques, même à ce stade précoce

La mise en œuvre matérielle confirme les taux de précision prévus grâce à des simulations

Des approches hybrides (quantiques-classiques) plus efficaces sont en ligne pour les tests, ce qui promet un gain de performance réel par rapport aux meilleures méthodes d'approximation classiques de leur catégorie.

La prochaine génération de QPU de Pasqal comprenant jusqu'à 1000 qubits, qui sortira en 2024, éliminera la principale contrainte des implémentations actuelles.

# Perspectives

## Côté EDF

Un des industriels les plus impliqués dans le monde sur la thématique

Plusieurs actions avec la plupart des startups hardware d'IdF

Etude de l'encodage systématique de pb sous forme MIS UD

## Côté Pasqal

Le domaine d'énergie a été identifié comme un domaine industriel stratégique

Des collaborations renouvelées avec des nouvelles synergies

Les expériences ont permis de débloqué plusieurs axes en recherche opérationnelle