

Projet commandité par le Hub quantique et financé par la Maison du quantique Alpes



Etude de maturité des technologies et algorithmes quantiques

Valentin Gilbert – Consultant informatique quantique chez Qounselor

04/03/2026



Introduction



1- Introduction

Besoins et livrables

1- Introduction

Besoins et livrables

Souhaits des partenaires du Hub Quantique :

1- Introduction

Besoins et livrables

Souhaits des partenaires du Hub Quantique :

- **Cartographier** exhaustivement les récents développements et recherches en informatique quantique (approches NISQ).

1- Introduction

Besoins et livrables

Souhaits des partenaires du Hub Quantique :

- **Cartographier** exhaustivement les récents développements et recherches en informatique quantique (approches NISQ).
- Identification des **voies technologiques** principales (ensemble d'applications, algorithmes et technologies quantiques utilisées).

1- Introduction

Besoins et livrables

Souhaits des partenaires du Hub Quantique :

- **Cartographier** exhaustivement les récents développements et recherches en informatique quantique (approches NISQ).
- Identification des **voies technologiques** principales (ensemble d'applications, algorithmes et technologies quantiques utilisées).
- Analyse de la **maturité** des technologies existantes vis à vis des cas d'usage concernés.

1- Introduction

Besoins et livrables

Souhaits des partenaires du Hub Quantique :

- **Cartographier** exhaustivement les récents développements et recherches en informatique quantique (approches NISQ).
- Identification des **voies technologiques** principales (ensemble d'applications, algorithmes et technologies quantiques utilisées).
- Analyse de la **maturité** des technologies existantes vis à vis des cas d'usage concernés.

Livrables :

1- Introduction

Besoins et livrables

Souhaits des partenaires du Hub Quantique :

- **Cartographe** exhaustivement les récents développements et recherches en informatique quantique (approches NISQ).
- Identification des **voies technologiques** principales (ensemble d'applications, algorithmes et technologies quantiques utilisées).
- Analyse de la **maturité** des technologies existantes vis à vis des cas d'usage concernés.

Livrables :



Cartographie
interactive
Semaine 44
31/10/2025

1- Introduction

Besoins et livrables

Souhaits des partenaires du Hub Quantique :

- **Cartographier** exhaustivement les récents développements et recherches en informatique quantique (approches NISQ).
- Identification des **voies technologiques** principales (ensemble d'applications, algorithmes et technologies quantiques utilisées).
- Analyse de la **maturité** des technologies existantes vis à vis des cas d'usage concernés.

Livrables :



Cartographie
interactive
Semaine 44
31/10/2025



Workshop

Semaine 51
16/12/2025

1- Introduction

Besoins et livrables

Souhaits des partenaires du Hub Quantique :

- **Cartographier** exhaustivement les récents développements et recherches en informatique quantique (approches NISQ).
- Identification des **voies technologiques** principales (ensemble d'applications, algorithmes et technologies quantiques utilisées).
- Analyse de la **maturité** des technologies existantes vis à vis des cas d'usage concernés.

Livrables :



Cartographie
interactive
Semaine 44
31/10/2025



Workshop
Semaine 51
16/12/2025



Rapport
Semaine 51
31/12/2025

1- Introduction

Besoins et livrables

Souhaits des partenaires du Hub Quantique :

- **Cartographier** exhaustivement les récents développements et recherches en informatique quantique (approches NISQ).
- Identification des **voies technologiques** principales (ensemble d'applications, algorithmes et technologies quantiques utilisées).
- Analyse de la **maturité** des technologies existantes vis à vis des cas d'usage concernés.

Livrables :



Cartographie
interactive
Semaine 44
31/10/2025



Workshop
Semaine 51
16/12/2025



Rapport
Semaine 51
31/12/2025



Synthèse
Semaine 52
31/12/2025

1- Introduction

Besoins et livrables

Souhaits des partenaires du Hub Quantique :

- **Cartographier** exhaustivement les récents développements et recherches en informatique quantique (approches NISQ).
- Identification des **voies technologiques** principales (ensemble d'applications, algorithmes et technologies quantiques utilisées).
- Analyse de la **maturité** des technologies existantes vis à vis des cas d'usage concernés.

Livrables :



Cartographie
interactive
Semaine 44
31/10/2025



Workshop
Semaine 51
16/12/2025



Rapport
Semaine 51
31/12/2025



Synthèse
Semaine 52
31/12/2025



Restitution MdQ
Alpes
Semaine 10
04/03/2026



1- Introduction

Terminologie

1- Introduction

Terminologie

Cas d'usage :

Un cas d'usage consiste en un **cas d'application métier** précis (exemple: "tournée de véhicules chargés avec contraintes de fenêtres de temps") pouvant être associé à la **modélisation d'un problème mathématique** précis.

1- Introduction

Terminologie

Cas d'usage :

Un cas d'usage consiste en un **cas d'application métier** précis (exemple: "tournée de véhicules chargés avec contraintes de fenêtres de temps") pouvant être associé à la **modélisation d'un problème mathématique** précis.

Algorithme quantique variationnel :

Algorithme mettant en œuvre un **optimiseur classique** permettant d'optimiser les paramètres du circuit quantique exécuté sur puce quantique. L'étape d'optimisation fait partie du bon déroulement de l'algorithme.

1- Introduction

Terminologie

Cas d'usage :

Un cas d'usage consiste en un **cas d'application métier** précis (exemple: "tournée de véhicules chargés avec contraintes de fenêtres de temps") pouvant être associé à la **modélisation d'un problème mathématique** précis.

Algorithme quantique variationnel :

Algorithme mettant en œuvre un **optimiseur classique** permettant d'optimiser les paramètres du circuit quantique exécuté sur puce quantique. L'étape d'optimisation fait partie du bon déroulement de l'algorithme.

Solution hybride :

Réalisation d'un **découpage du problème initial** pour le résoudre partiellement à l'aide d'un ordinateur quantique (exemple : résolution récursive d'un problème décomposé en sous-parties).



1- Introduction

Terminologie

1- Introduction

Terminologie

NISQ (Noisy-Intermediate scale Quantum) :

- Ordinateurs quantiques de taille moyenne (souvent < 100 qubits)
- Pas de méthodes de correction d'erreur (sinon on parle d'early ftqc) mais de **l'atténuation d'erreur**.

1- Introduction

Terminologie

NISQ (Noisy-Intermediate scale Quantum) :

- Ordinateurs quantiques de taille moyenne (souvent < 100 qubits)
- Pas de méthodes de correction d'erreur (sinon on parle d'early ftqc) mais de **l'atténuation d'erreur**.

Les défis du NISQ :

- Faire quelque chose d'utile avec un taux d'erreur élevé (Taux d'erreur $> 10^{-4}$ pour toutes les technologies existantes)

1- Introduction

Terminologie

NISQ (Noisy-Intermediate scale Quantum) :

- Ordinateurs quantiques de taille moyenne (souvent < 100 qubits)
- Pas de méthodes de correction d'erreur (sinon on parle d'early ftqc) mais de **l'atténuation d'erreur**.

Les défis du NISQ :

- Faire quelque chose d'utile avec un taux d'erreur élevé (Taux d'erreur $> 10^{-4}$ pour toutes les technologies existantes)

Difficulté d'évaluation des algorithmes NISQ :

- Les **preuves de convergence** des algorithmes ne s'**appliquent pas** à cause du bruit => Evaluation empirique
- Il est possible de montrer qu'une approche n'est pas viable



1- Introduction

Méthodologie

1- Introduction

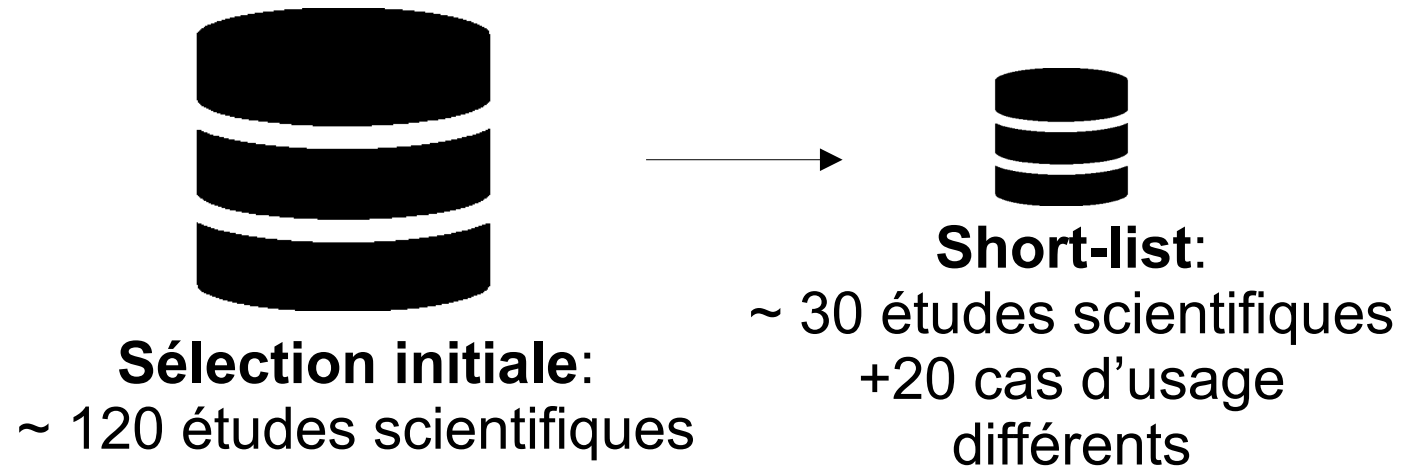
Méthodologie



Sélection initiale:
~ 120 études scientifiques

1- Introduction

Méthodologie



1- Introduction

Méthodologie



Sélection initiale:
~ 120 études scientifiques

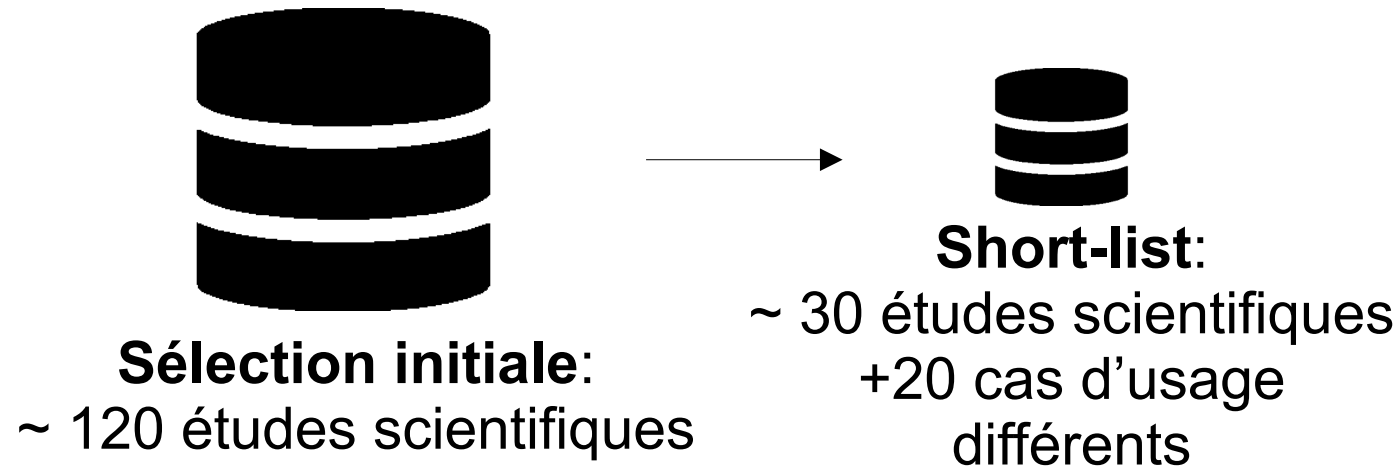


Short-list:
~ 30 études scientifiques
+20 cas d'usage
différents

Méthode de la sélection de la short-list :

1- Introduction

Méthodologie

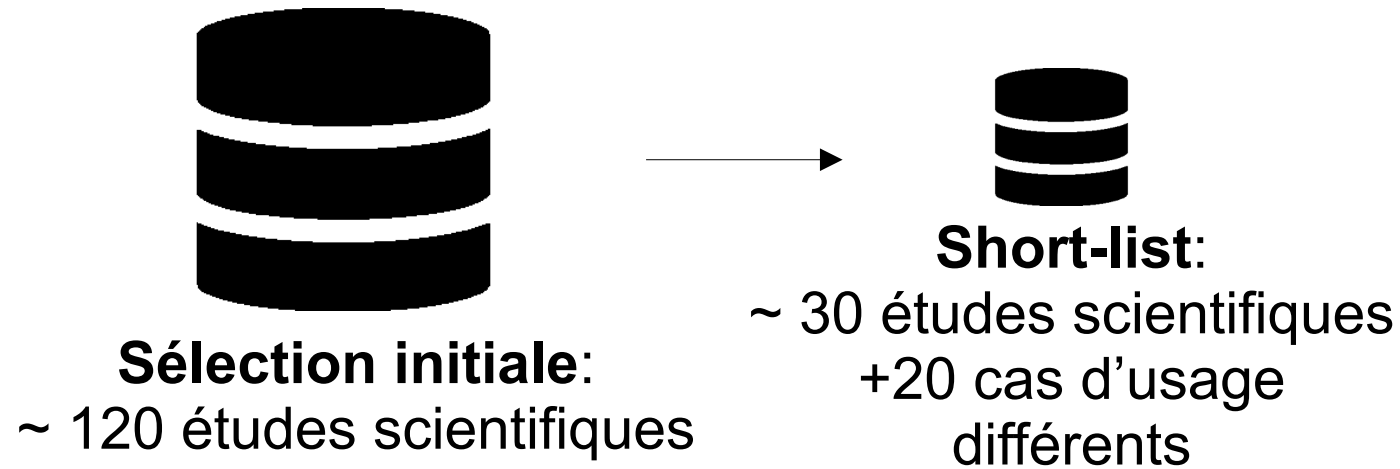


Méthode de la sélection de la short-list :

- Consultation des souhaits des partenaires (industriels et hardware providers)

1- Introduction

Méthodologie

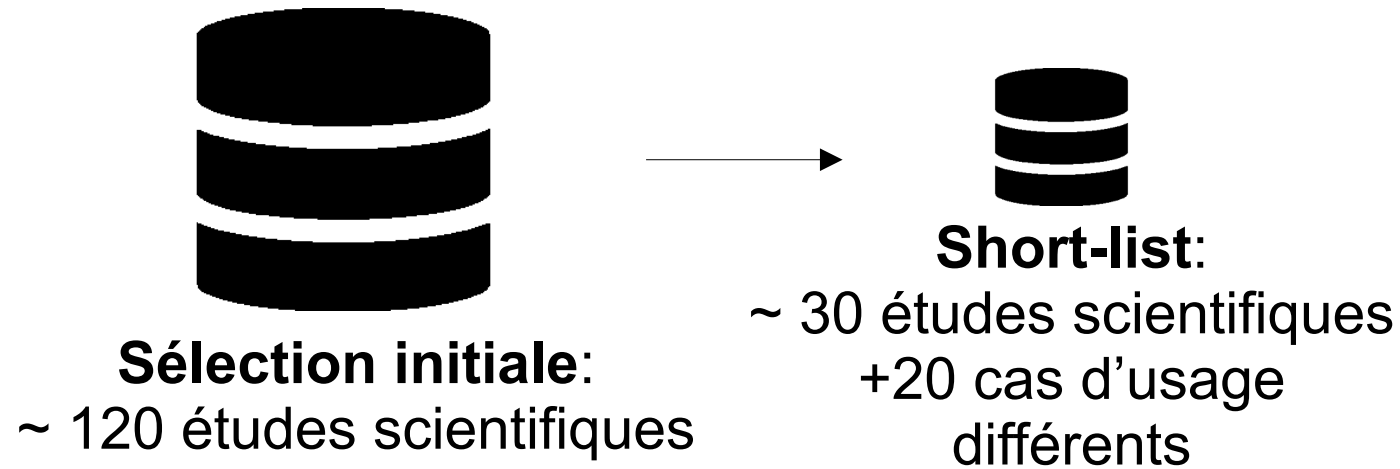


Méthode de la sélection de la short-list :

- Consultation des souhaits des partenaires (industriels et hardware providers)
- Maximisation de la variété des critères suivants:

1- Introduction

Méthodologie

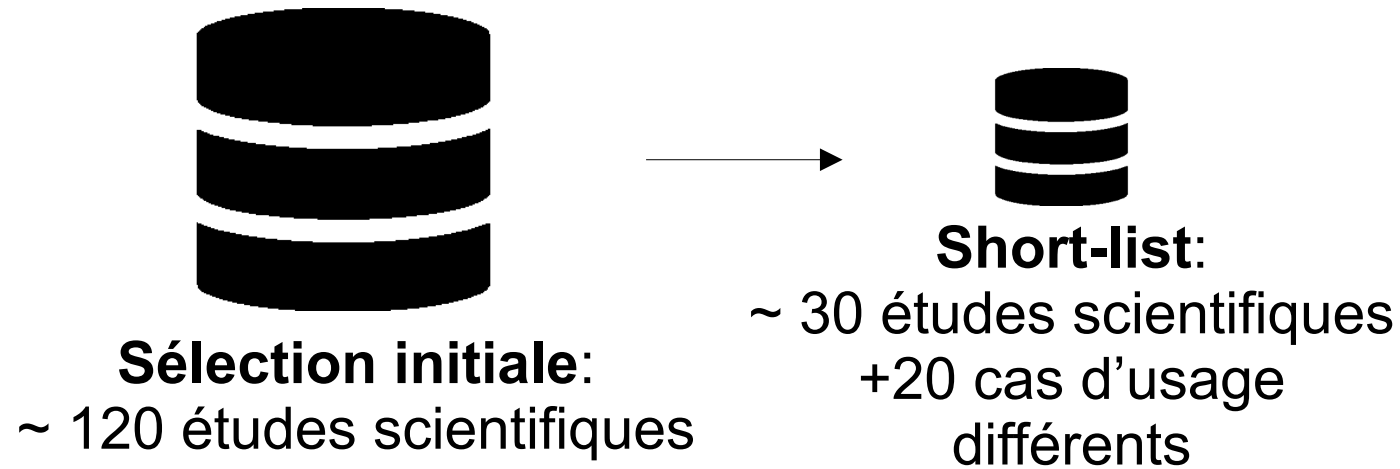


Méthode de la sélection de la short-list :

- Consultation des souhaits des partenaires (industriels et hardware providers)
- Maximisation de la variété des critères suivants:
 - Domaines d'application et cas d'usage

1- Introduction

Méthodologie

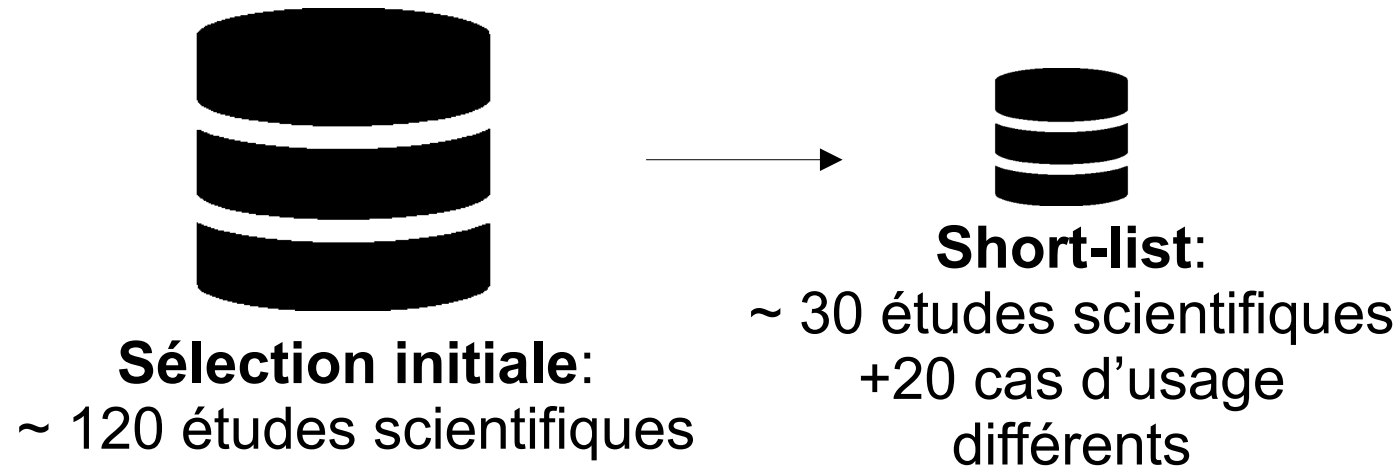


Méthode de la sélection de la short-list :

- Consultation des souhaits des partenaires (industriels et hardware providers)
- Maximisation de la variété des critères suivants:
 - Domaines d'application et cas d'usage
 - Problèmes mathématiques sous-jacents

1- Introduction

Méthodologie

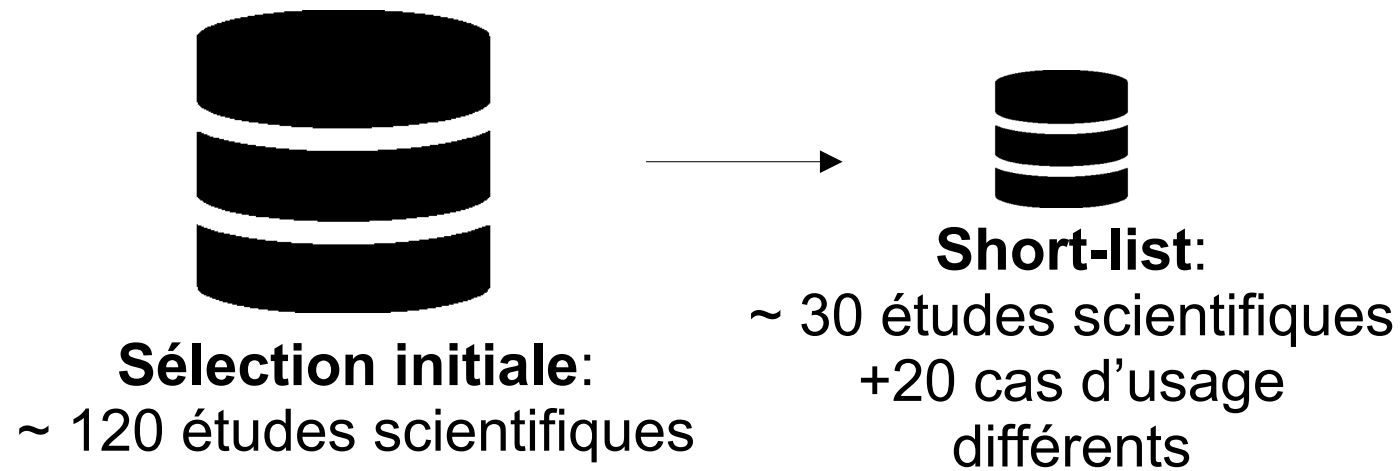


Méthode de la sélection de la short-list :

- Consultation des souhaits des partenaires (industriels et hardware providers)
- Maximisation de la variété des critères suivants:
 - Domaines d'application et cas d'usage
 - Problèmes mathématiques sous-jacents
 - Algorithmes NISQ utilisés

1- Introduction

Méthodologie



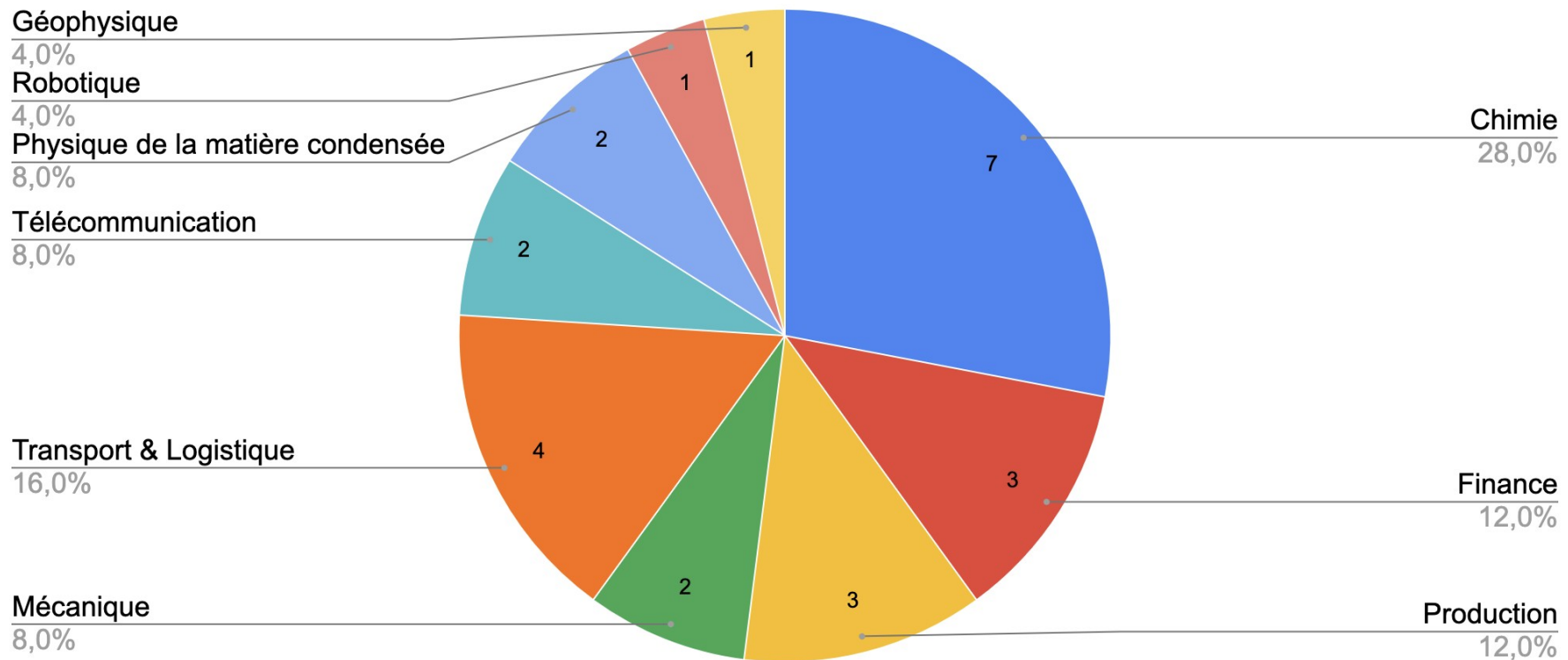
Méthode de la sélection de la short-list :

- Consultation des souhaits des partenaires (industriels et hardware providers)
- Maximisation de la variété des critères suivants:
 - Domaines d'application et cas d'usage
 - Problèmes mathématiques sous-jacents
 - Algorithmes NISQ utilisés
 - Implémentations NISQ utilisées

1- Introduction

Statistiques des études sélectionnées

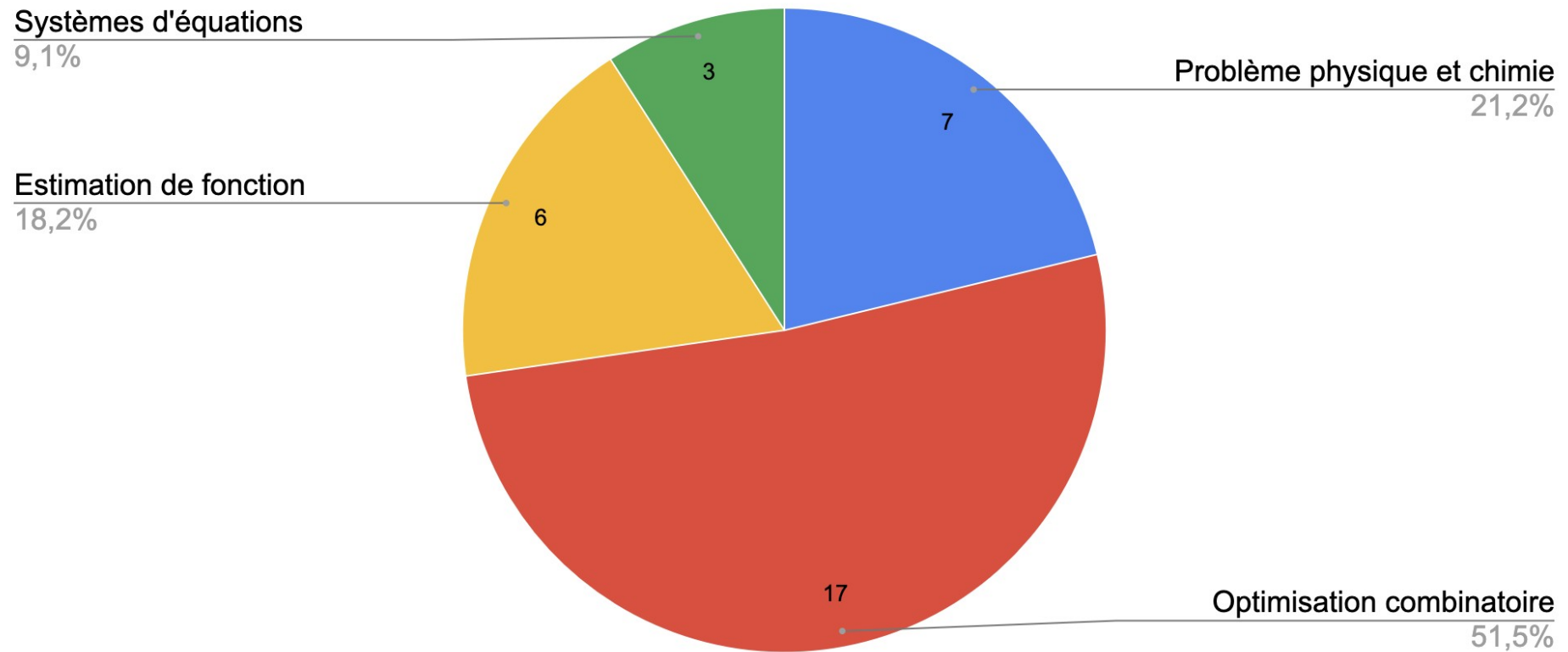
Etudes par domaine d'application



1- Introduction

Statistiques des études sélectionnées

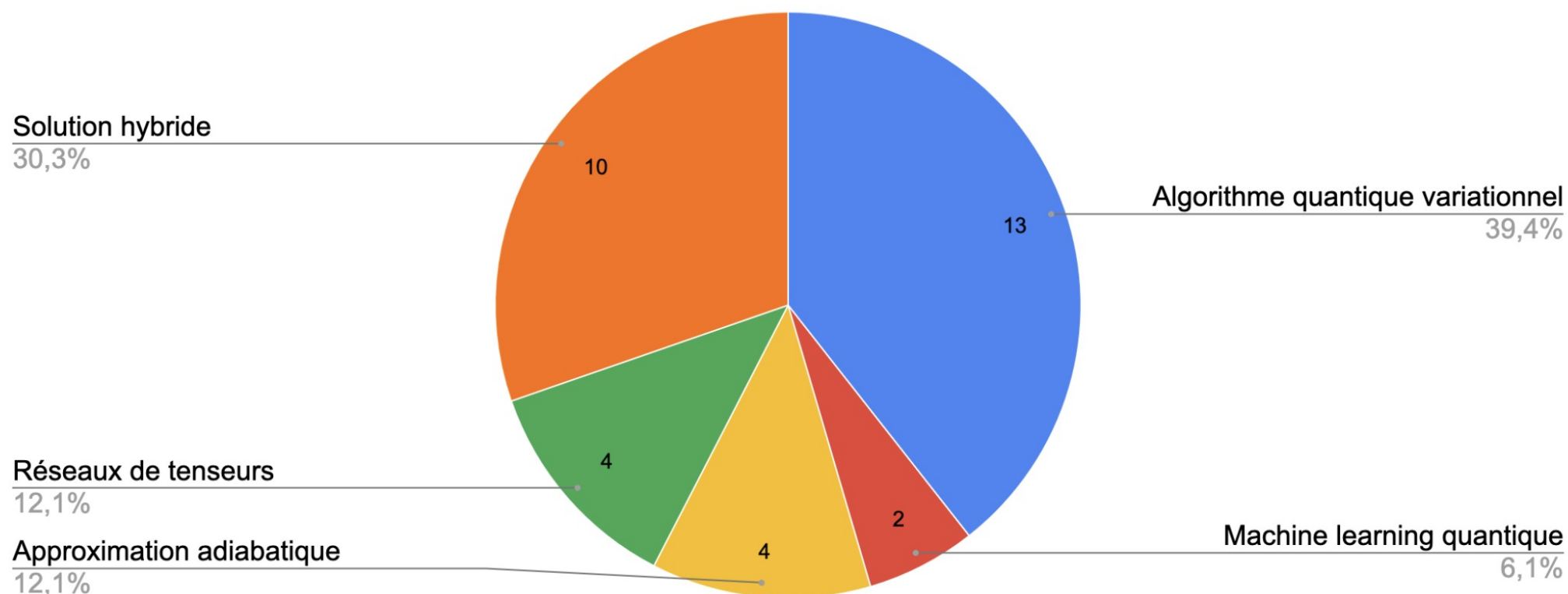
Répartition par classe de problème



1- Introduction

Statistiques des études sélectionnées

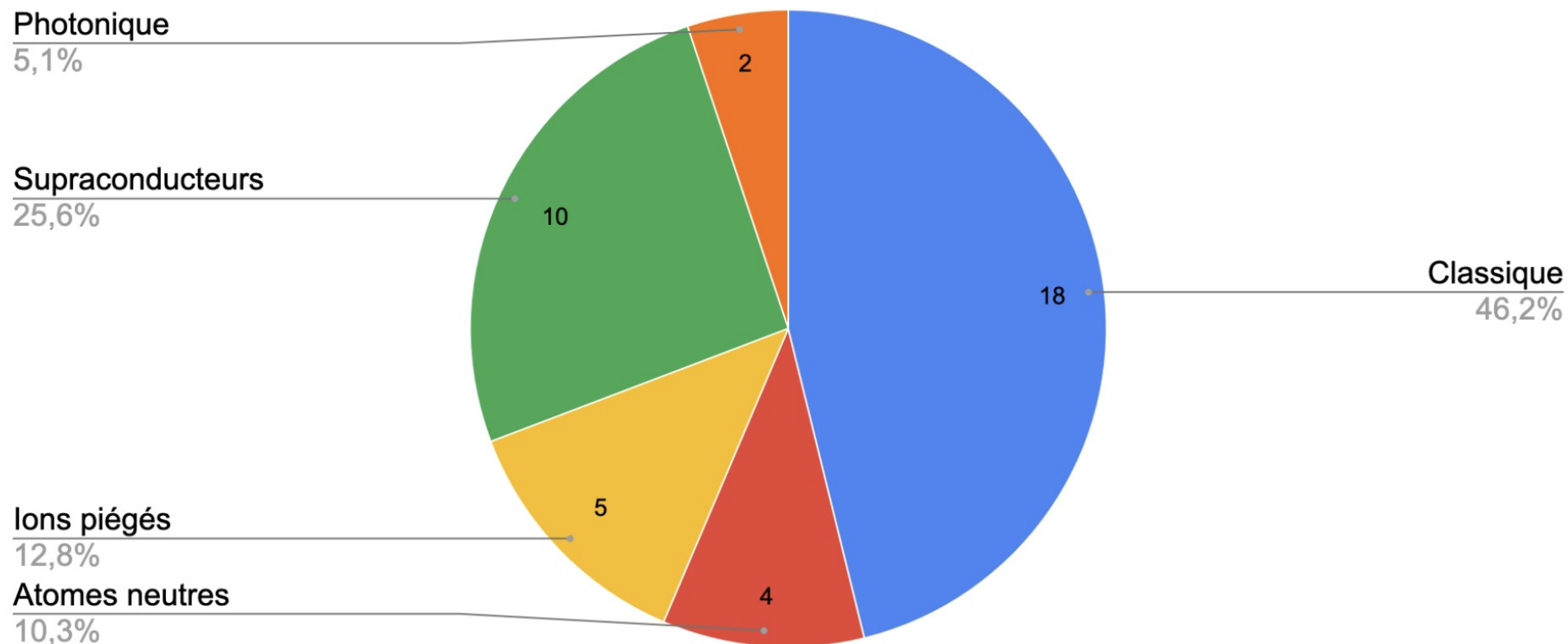
Répartition par classe d'algorithme



1- Introduction

Statistiques des études sélectionnées

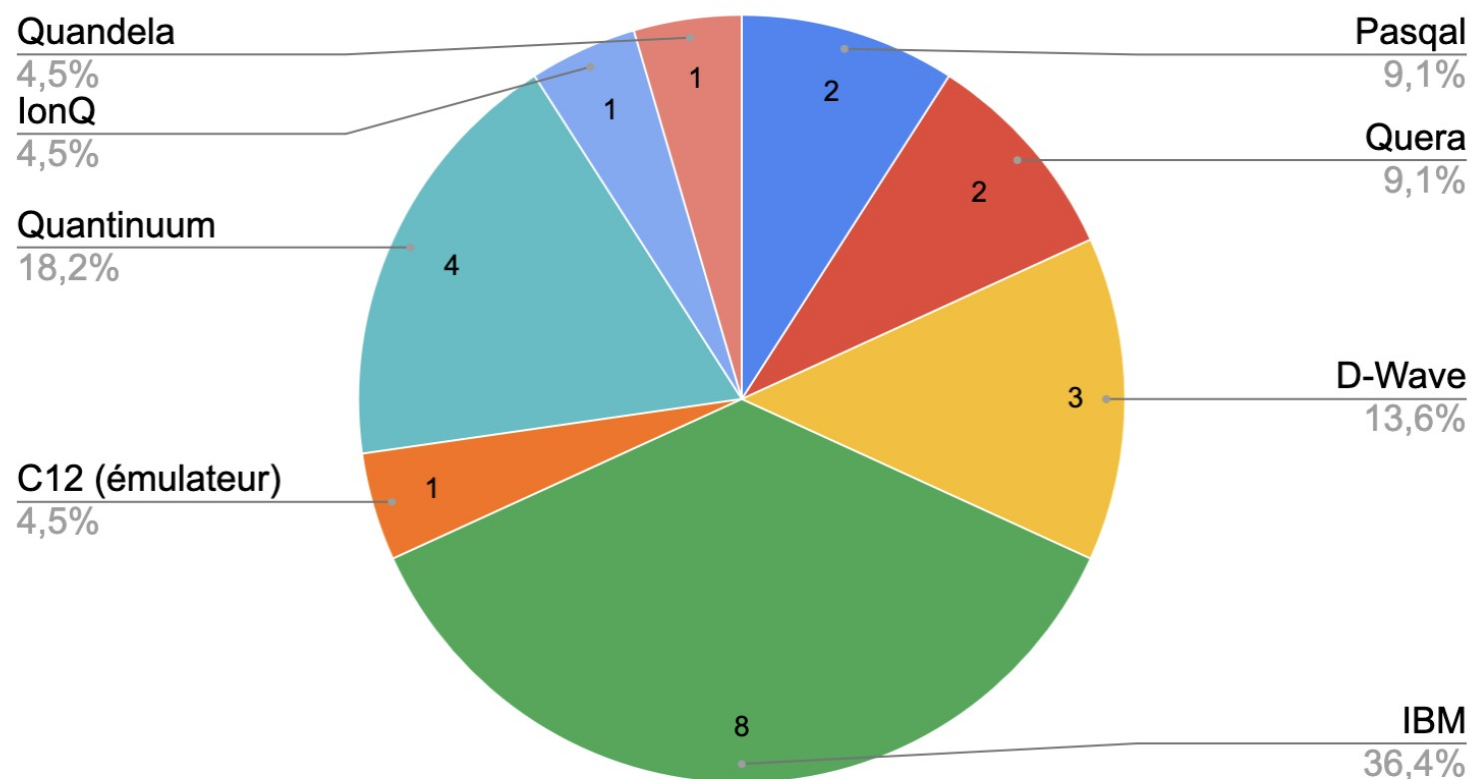
Répartition par type de hardware



1- Introduction

Statistiques des études sélectionnées

Répartition par constructeur





Outil de cartographie



2- Outil de cartographie

Motivation de l'outil de cartographie

2- Outil de cartographie

Motivation de l'outil de cartographie

Visualisation:

2- Outil de cartographie

Motivation de l'outil de cartographie

Visualisation:

- Faciliter la navigation à travers les études présentes dans la short-list.

2- Outil de cartographie

Motivation de l'outil de cartographie

Visualisation:

- Faciliter la navigation à travers les études présentes dans la short-list.
- Faciliter la lecture du rapport.

2- Outil de cartographie

Motivation de l'outil de cartographie

Visualisation:

- Faciliter la navigation à travers les études présentes dans la short-list.
- Faciliter la lecture du rapport.
- Mise en lien entre cas d'usage, problème mathématique résolu, algorithme utilisé et implémentation physique (classique ou quantique).

2- Outil de cartographie

Motivation de l'outil de cartographie

Visualisation:

- Faciliter la navigation à travers les études présentes dans la short-list.
- Faciliter la lecture du rapport.
- Mise en lien entre cas d'usage, problème mathématique résolu, algorithme utilisé et implémentation physique (classique ou quantique).

Objectifs analytiques:

2- Outil de cartographie

Motivation de l'outil de cartographie

Visualisation:

- Faciliter la navigation à travers les études présentes dans la short-list.
- Faciliter la lecture du rapport.
- Mise en lien entre cas d'usage, problème mathématique résolu, algorithme utilisé et implémentation physique (classique ou quantique).

Objectifs analytiques:

- Identifier des **ensembles de problèmes similaires** résolus à l'aide d'algorithmes quantiques différents pour comparer les approches existantes.

2- Outil de cartographie

Motivation de l'outil de cartographie

Visualisation:

- Faciliter la navigation à travers les études présentes dans la short-list.
- Faciliter la lecture du rapport.
- Mise en lien entre cas d'usage, problème mathématique résolu, algorithme utilisé et implémentation physique (classique ou quantique).

Objectifs analytiques:

- Identifier des **ensembles de problèmes similaires** résolus à l'aide d'algorithmes quantiques différents pour comparer les approches existantes.
- Identifier les **principales voies technologiques** (problème mathématique, algorithme et implémentations) afin d'analyser dans le rapport les points forts et faiblesses de chaque méthode de résolution.

2- Outil de cartographie

Motivation de l'outil de cartographie

Visualisation:

- Faciliter la navigation à travers les études présentes dans la short-list.
- Faciliter la lecture du rapport.
- Mise en lien entre cas d'usage, problème mathématique résolu, algorithme utilisé et implémentation physique (classique ou quantique).

Objectifs analytiques:

- Identifier des **ensembles de problèmes similaires** résolus à l'aide d'algorithmes quantiques différents pour comparer les approches existantes.
- Identifier les **principales voies technologiques** (problème mathématique, algorithme et implémentations) afin d'analyser dans le rapport les points forts et faiblesses de chaque méthode de résolution.
- Visualiser la **maturité des algorithmes NISQ** (code couleur).

2- Outil de cartographie

Classification d'une étude

Etude: « Quantum Annealing of Vehicle Routing Problem with Time, State and Capacity » H. Irie et al. <https://arxiv.org/abs/1903.06322>

Dans cette étude, on s'intéresse à un cas d'usage dans le domaine **transport & logistique**. Le but est d'optimiser le **routage d'un véhicule** en prenant en compte sa charge (capacité maximale) et son évolution dans le temps. Ce problème d'**optimisation combinatoire** correspond à une variante du problème **VRP** (Capacitated Vehicle Routing with time window problem). Dans l'étude, le problème VRP est ensuite traduit en QUBO puis résolu via un algorithme de **recuit quantique** sur les machines D-Wave (machines **analogiques**).

2- Outil de cartographie

Classification d'une étude

Etude: « Quantum Annealing of Vehicle Routing Problem with Time, State and Capacity » H. Irie et al. <https://arxiv.org/abs/1903.06322>

Dans cette étude, on s'intéresse à un cas d'usage dans le domaine **transport & logistique**. Le but est d'optimiser le **routage d'un véhicule** en prenant en compte sa charge (capacité maximale) et son évolution dans le temps. Ce problème d'**optimisation combinatoire** correspond à une variante du problème **VRP** (Capacitated Vehicle Routing with time window problem). Dans l'étude, le problème VRP est ensuite traduit en QUBO puis résolu via un algorithme de **recuit quantique** sur les machines D-Wave (machines **analogiques**).

On obtient la classification suivante :

2- Outil de cartographie

Classification d'une étude

Etude: « Quantum Annealing of Vehicle Routing Problem with Time, State and Capacity » H. Irie et al. <https://arxiv.org/abs/1903.06322>

Dans cette étude, on s'intéresse à un cas d'usage dans le domaine **transport & logistique**. Le but est d'optimiser le **routage d'un véhicule** en prenant en compte sa charge (capacité maximale) et son évolution dans le temps. Ce problème d'**optimisation combinatoire** correspond à une variante du problème **VRP** (Capacitated Vehicle Routing with time window problem). Dans l'étude, le problème VRP est ensuite traduit en QUBO puis résolu via un algorithme de **recuit quantique** sur les machines D-Wave (machines **analogiques**).

On obtient la classification suivante :

Cas d'usage

Domaine d'application:
Transport & Logistique

Cas d'usage précis:
Routage de véhicule

2- Outil de cartographie

Classification d'une étude

Etude: « Quantum Annealing of Vehicle Routing Problem with Time, State and Capacity » H. Irie et al. <https://arxiv.org/abs/1903.06322>

Dans cette étude, on s'intéresse à un cas d'usage dans le domaine **transport & logistique**. Le but est d'optimiser le **routage d'un véhicule** en prenant en compte sa charge (capacité maximale) et son évolution dans le temps. Ce problème d'**optimisation combinatoire** correspond à une variante du problème **VRP** (Capacitated Vehicle Routing with time window problem). Dans l'étude, le problème VRP est ensuite traduit en QUBO puis résolu via un algorithme de **recuit quantique** sur les machines D-Wave (machines **analogiques**).

On obtient la classification suivante :

Cas d'usage	Problème mathématique
<u>Domaine d'application:</u> Transport & Logistique	<u>Classe de problème :</u> Optimisation combinatoire
<u>Cas d'usage précis:</u> Routage de véhicule	<u>Problème précis:</u> VRP

2- Outil de cartographie

Classification d'une étude

Etude: « Quantum Annealing of Vehicle Routing Problem with Time, State and Capacity » H. Irie et al. <https://arxiv.org/abs/1903.06322>

Dans cette étude, on s'intéresse à un cas d'usage dans le domaine **transport & logistique**. Le but est d'optimiser le **routage d'un véhicule** en prenant en compte sa charge (capacité maximale) et son évolution dans le temps. Ce problème d'**optimisation combinatoire** correspond à une variante du problème **VRP** (Capacitated Vehicle Routing with time window problem). Dans l'étude, le problème VRP est ensuite traduit en QUBO puis résolu via un algorithme de **recuit quantique** sur les machines D-Wave (machines **analogiques**).

On obtient la classification suivante :

Cas d'usage	Problème mathématique	Algorithme
<u>Domaine d'application:</u> Transport & Logistique	<u>Classe de problème :</u> Optimisation combinatoire	<u>Classe d'algorithme :</u> Approximation adiabatique
<u>Cas d'usage précis:</u> Routage de véhicule	<u>Problème précis:</u> VRP	<u>Algorithme précis:</u> Recuit quantique

2- Outil de cartographie

Classification d'une étude

Etude: « Quantum Annealing of Vehicle Routing Problem with Time, State and Capacity » H. Irie et al. <https://arxiv.org/abs/1903.06322>

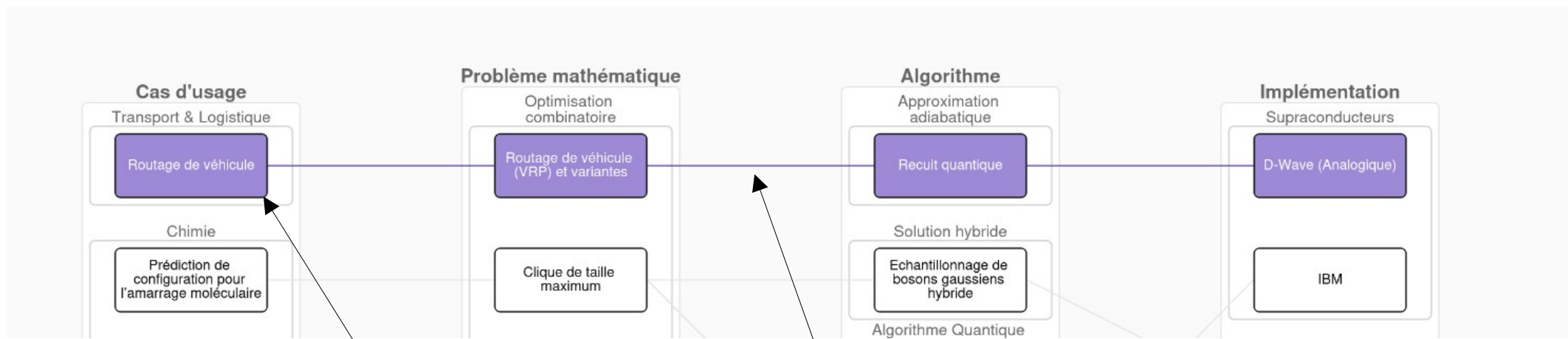
Dans cette étude, on s'intéresse à un cas d'usage dans le domaine **transport & logistique**. Le but est d'optimiser le **routage d'un véhicule** en prenant en compte sa charge (capacité maximale) et son évolution dans le temps. Ce problème d'**optimisation combinatoire** correspond à une variante du problème **VRP** (Capacitated Vehicle Routing with time window problem). Dans l'étude, le problème VRP est ensuite traduit en QUBO puis résolu via un algorithme de **recuit quantique** sur les machines D-Wave (machines **analogiques**).

On obtient la classification suivante :

Cas d'usage	Problème mathématique	Algorithme	Implémentation
<u>Domaine d'application:</u> Transport & Logistique	<u>Classe de problème :</u> Optimisation combinatoire	<u>Classe d'algorithme :</u> Approximation adiabatique	<u>Type de hardware :</u> Supraconducteurs
<u>Cas d'usage précis:</u> Routage de véhicule	<u>Problème précis:</u> VRP	<u>Algorithme précis:</u> Recuit quantique	<u>Plateforme précise:</u> D-Wave (Analogique)

2- Outil de cartographie

Représentation de l'étude dans l'outil

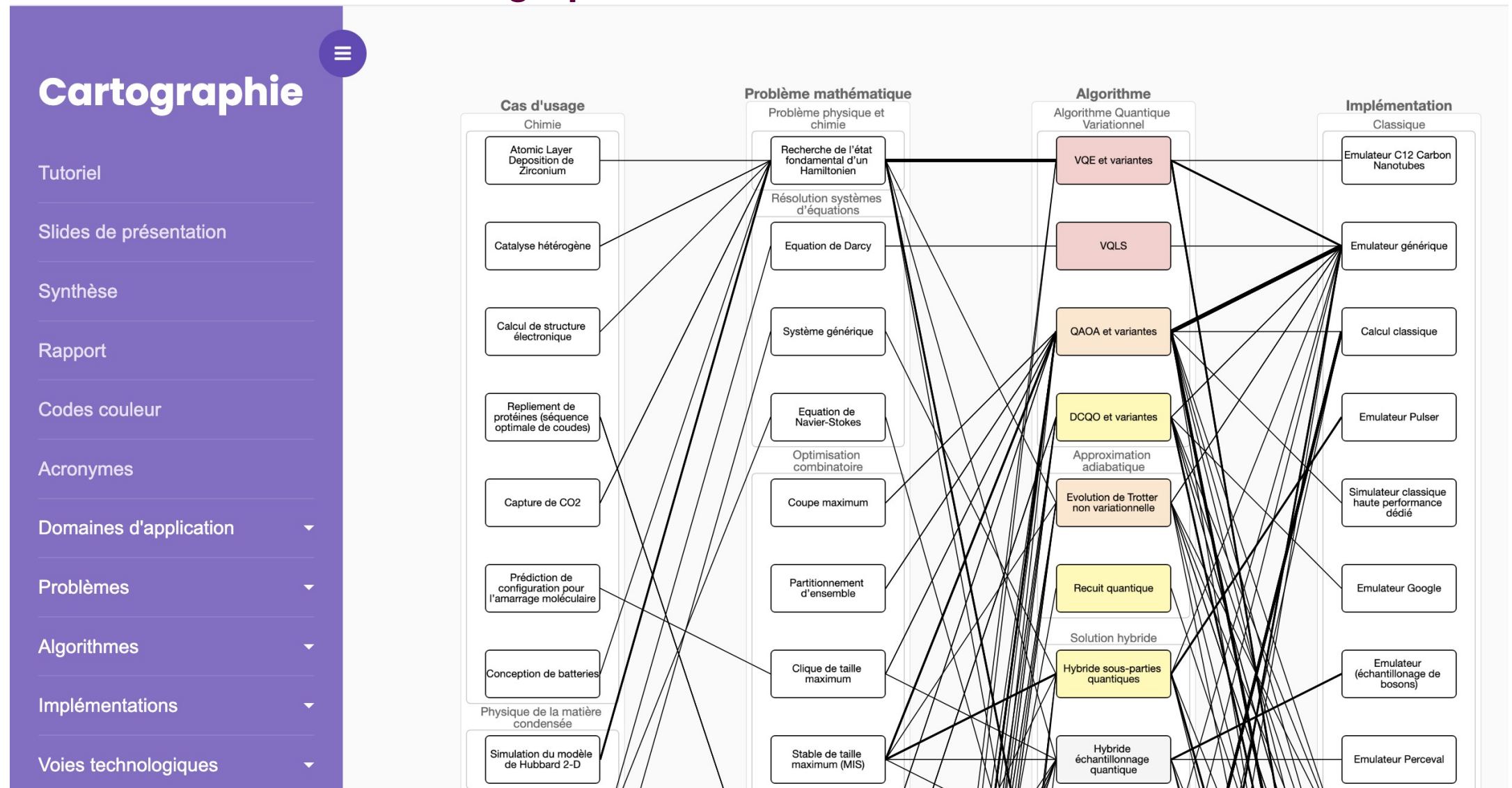


En cliquant sur le cas d'usage, les dépendances s'activent (couleur violette)

Un chemin = 1 expérience

2- Outil de cartographie

Interface de l'outil de cartographie



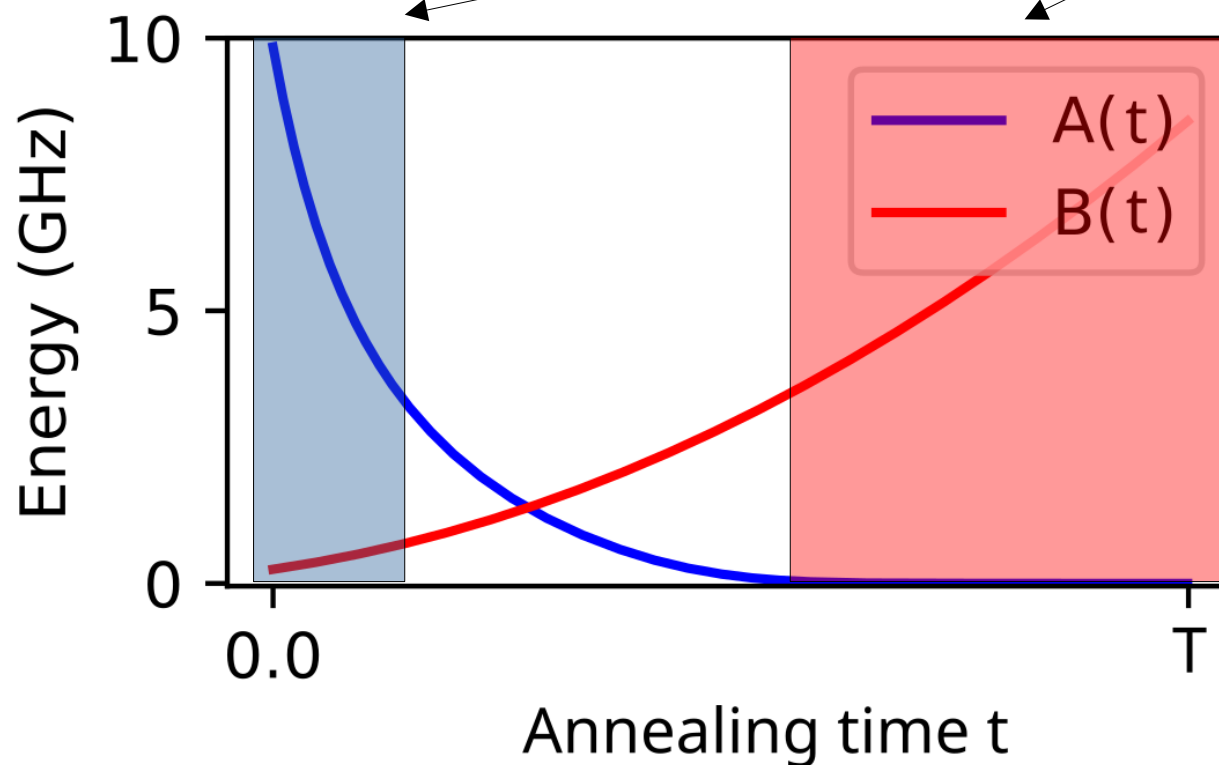


Méthodes de calcul à l'ère du NISQ

3- Méthodes

Calcul analogique (D-Wave, Pasqal, QuEra)

$$H(t) = -\underbrace{\frac{A(t)}{2} H_{init}}_{\text{blue}} + \underbrace{\frac{B(t)}{2} H_{final}}_{\text{red}}$$

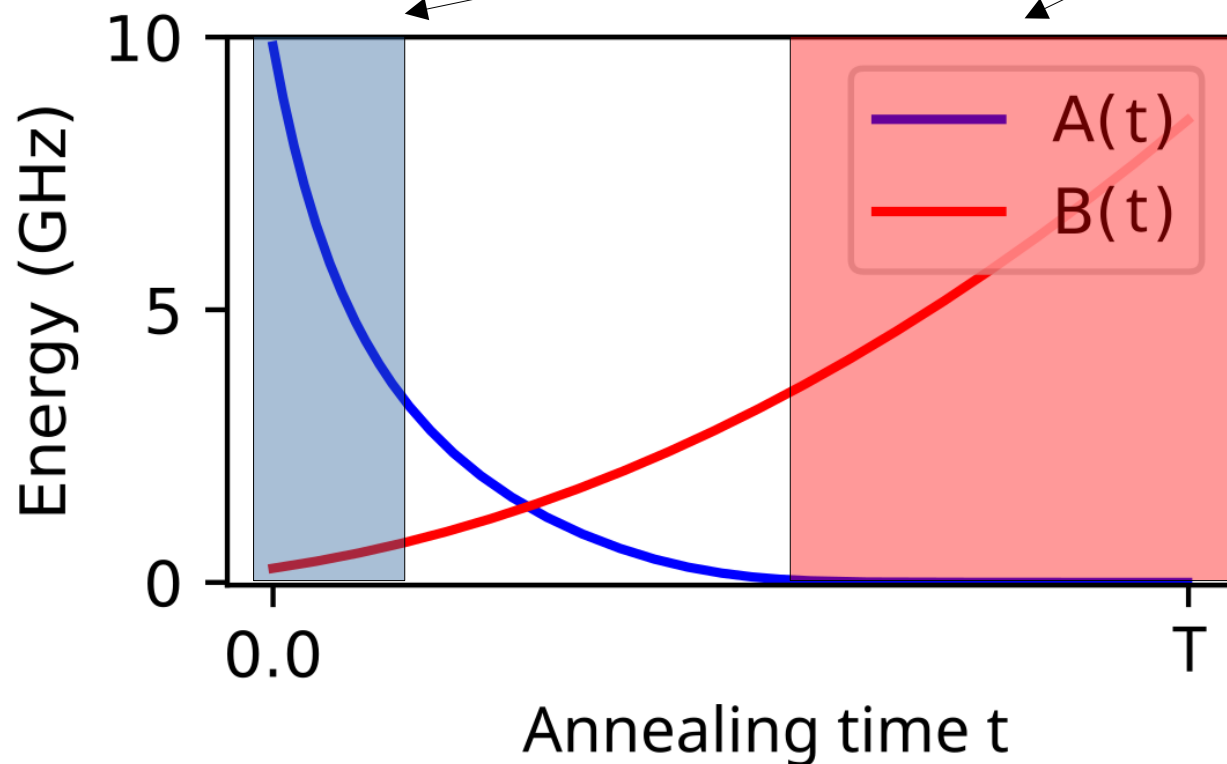


3- Méthodes

Calcul analogique (D-Wave, Pasqal, QuEra)

$$H(t) = -\underbrace{\frac{A(t)}{2} H_{init}}_{\text{}} + \underbrace{\frac{B(t)}{2} H_{final}}_{\text{}}$$

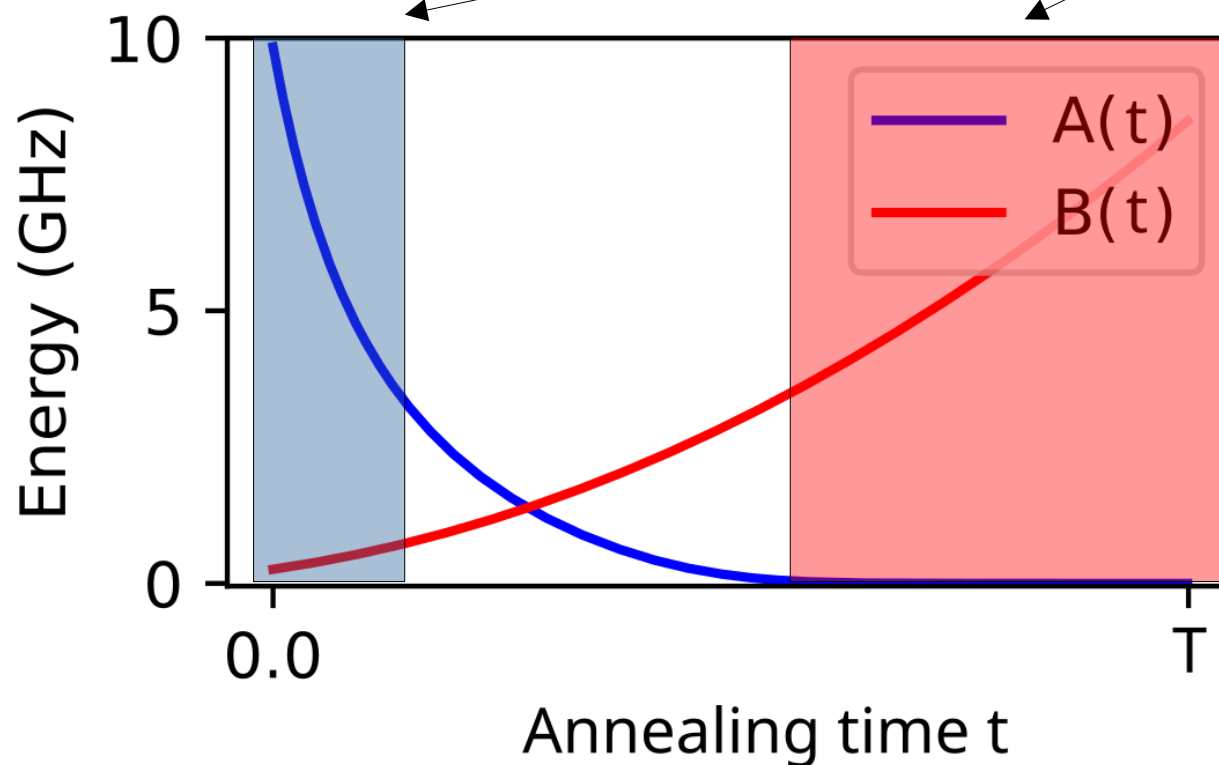
Recette pour une évolution adiabatique réussie:



3- Méthodes

Calcul analogique (D-Wave, Pasqal, QuEra)

$$H(t) = -\underbrace{\frac{A(t)}{2} H_{init}}_{\text{Energy of } H_{init}} + \underbrace{\frac{B(t)}{2} H_{final}}_{\text{Energy of } H_{final}}$$



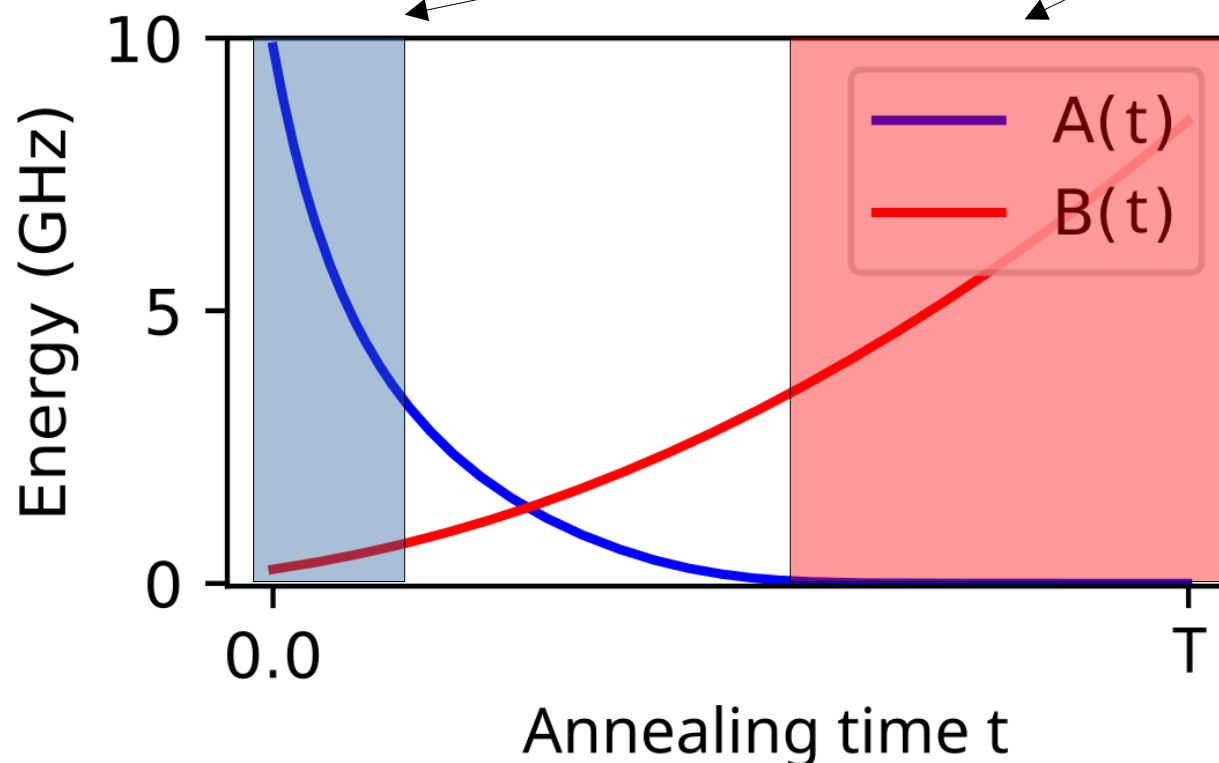
Recette pour une évolution adiabatique réussie:

Etape 1: Préparer l'état initial dans l'état fondamental de H_{init}

3- Méthodes

Calcul analogique (D-Wave, Pasqal, QuEra)

$$H(t) = -\underbrace{\frac{A(t)}{2} H_{init}}_{\text{Term 1}} + \underbrace{\frac{B(t)}{2} H_{final}}_{\text{Term 2}}$$



Recette pour une évolution adiabatique réussie:

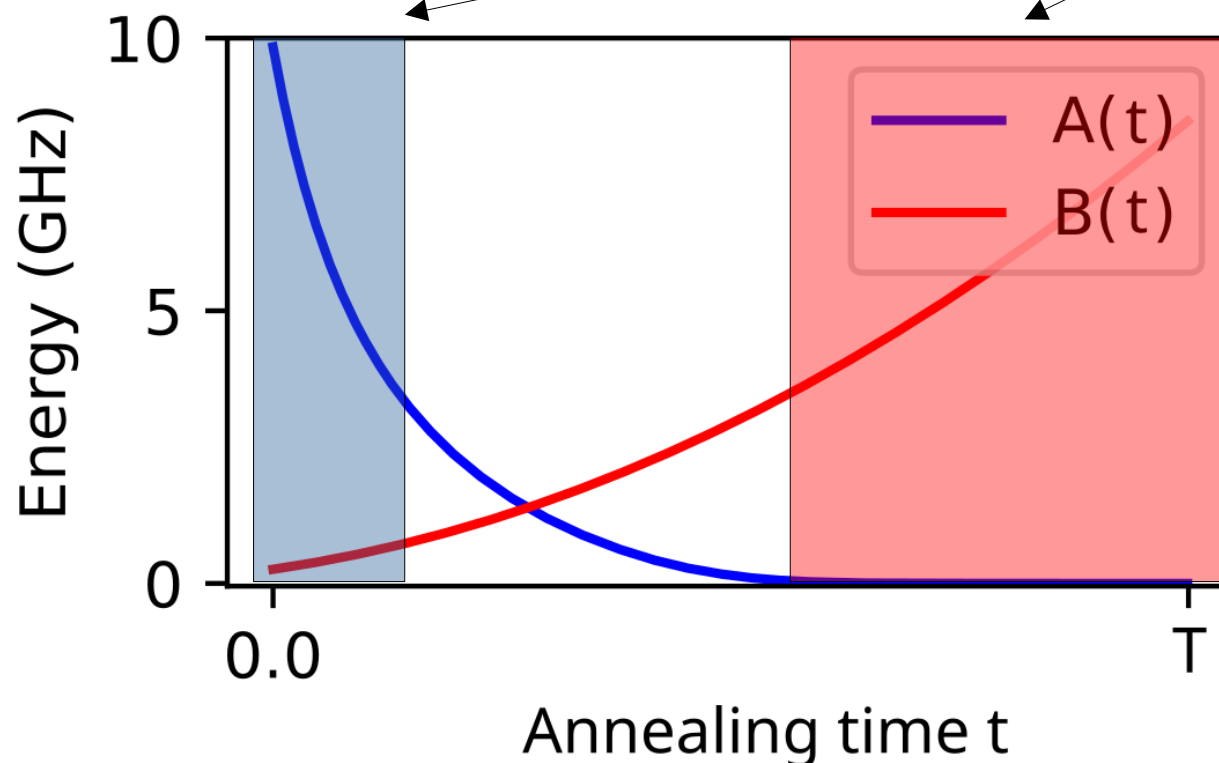
Etape 1: Préparer l'état initial dans l'état fondamental de H_{init}

Etape 2: Graduellement désactiver H_{init} pour activer H_{final}

3- Méthodes

Calcul analogique (D-Wave, Pasqal, QuEra)

$$H(t) = -\underbrace{\frac{A(t)}{2} H_{init}}_{\text{Term 1}} + \underbrace{\frac{B(t)}{2} H_{final}}_{\text{Term 2}}$$



Recette pour une évolution adiabatique réussie:

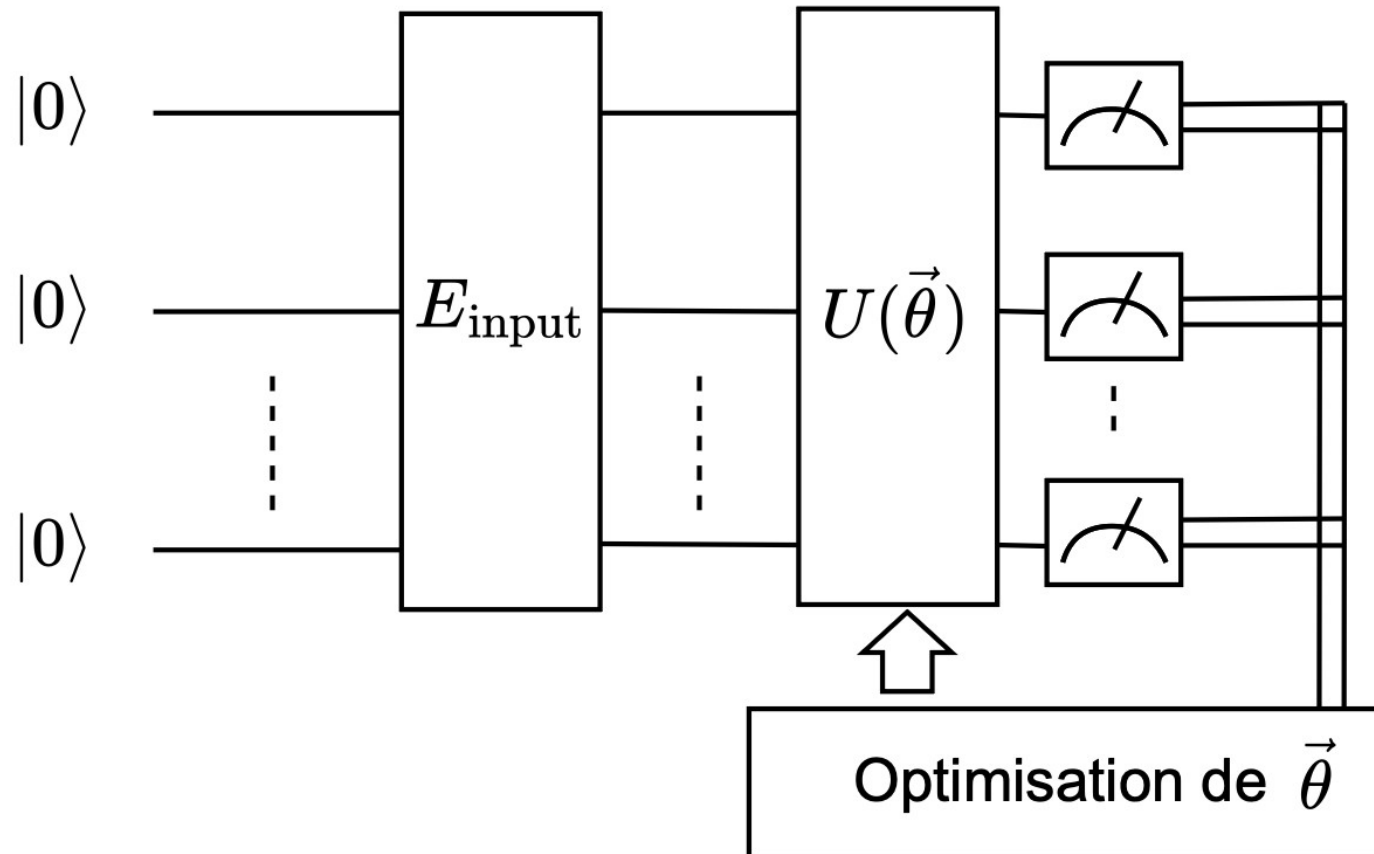
Etape 1: Préparer l'état initial dans l'état fondamental de H_{init}

Etape 2: Graduellement désactiver H_{init} pour activer H_{final}

=> Vous terminez dans l'état fondamental de H_{final} (garantie du théorème adiabatique)

3- Méthodes

Calcul variationnel à portes (IBM, IonQ, Quantinuum, ...)



Objectif: Maximiser une fonction classique prenant en paramètres les mesures de l'ordinateur quantique



Echelle de notation



4- Echelle de notation

Code couleur

4- Echelle de notation

Code couleur

Objectif:

4- Echelle de notation

Code couleur

Objectif:

Évaluation de la capacité des algorithmes quantiques à fournir un avantage

4- Echelle de notation

Code couleur

Objectif:

Évaluation de la capacité des algorithmes quantiques à fournir un avantage

Identification des **caractéristiques** limitant la performance des ordinateurs quantiques (mise en lien avec le problème mathématique)

4- Echelle de notation

Code couleur

Objectif:

Évaluation de la capacité des algorithmes quantiques à fournir un avantage

Identification des **caractéristiques** limitant la performance des ordinateurs quantiques (mise en lien avec le problème mathématique)

Définition d'un code couleur pour évaluer la **maturité applicative** les algorithmes quantiques.

4- Echelle de notation

Code couleur

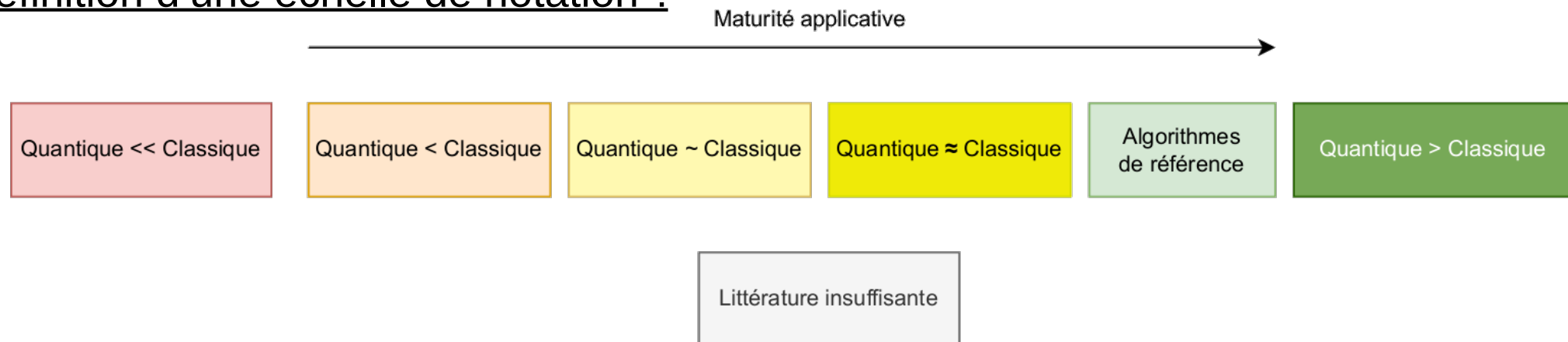
Objectif:

Évaluation de la capacité des algorithmes quantiques à fournir un avantage

Identification des **caractéristiques** limitant la performance des ordinateurs quantiques (mise en lien avec le problème mathématique)

Définition d'un code couleur pour évaluer la **maturité applicative** les algorithmes quantiques.

Définition d'une échelle de notation*:



*notation faite en regard de la littérature disponible en septembre 2025

4- Echelle de notation

Méthodologie

4- Echelle de notation

Méthodologie

Étapes d'évaluation:

- Identification du cas d'usage

Cas d'usage

4- Echelle de notation

Méthodologie

Étapes d'évaluation:

- Identification du cas d'usage
- Mise en lien du cas d'usage avec le problème mathématique sous-jacent:

Objectifs :

Cas d'usage

Problème
math

4- Echelle de notation

Méthodologie

Étapes d'évaluation:

- Identification du cas d'usage

- Mise en lien du cas d'usage avec le problème mathématique sous-jacent:

Objectifs :

- Gagner en **abstraction**

Cas d'usage

Problème
math

4- Echelle de notation

Méthodologie

Étapes d'évaluation:

- Identification du cas d'usage

- Mise en lien du cas d'usage avec le problème mathématique sous-jacent:

Objectifs :

- Gagner en **abstraction**
- Visualiser la **diversité** des **problèmes** adressés par les méthodes quantiques

Cas d'usage

Problème
math

4- Echelle de notation

Méthodologie

Étapes d'évaluation:

- Identification du cas d'usage

- Mise en lien du cas d'usage avec le problème mathématique sous-jacent:

Objectifs :

- Gagner en **abstraction**
- Visualiser la **diversité** des **problèmes** adressés par les méthodes quantiques
- Identifier les différentes **formulations** de problèmes

Cas d'usage

Problème
math

4- Echelle de notation

Méthodologie

Étapes d'évaluation:

- Identification du cas d'usage

- Mise en lien du cas d'usage avec le problème mathématique sous-jacent:

Objectifs :

- Gagner en **abstraction**
- Visualiser la **diversité** des **problèmes** adressés par les méthodes quantiques
- Identifier les différentes **formulations** de problèmes
- Faire le **lien** avec d'autres **cas d'usage** (découverte de nouveaux domaines)

Cas d'usage

Problème
math

4- Echelle de notation

Méthodologie

Étapes d'évaluation:

- Identification du cas d'usage

- Mise en lien du cas d'usage avec le problème mathématique sous-jacent:

Objectifs :

- Gagner en **abstraction**
 - Visualiser la **diversité** des **problèmes** adressés par les méthodes quantiques
 - Identifier les différentes **formulations** de problèmes
 - Faire le **lien** avec d'autres **cas d'usage** (découverte de nouveaux domaines)
- Identifier les simplifications/approximations faites à partir du problème initial

Cas d'usage

Problème
math

4- Echelle de notation

Méthodologie

Étapes d'évaluation:

- Identification du cas d'usage

- Mise en lien du cas d'usage avec le problème mathématique sous-jacent:

Objectifs :

- Gagner en **abstraction**
 - Visualiser la **diversité** des **problèmes** adressés par les méthodes quantiques
 - Identifier les différentes **formulations** de problèmes
 - Faire le **lien** avec d'autres **cas d'usage** (découverte de nouveaux domaines)
- Identifier les simplifications/approximations faites à partir du problème initial
 - ex : Problèmes de chimie quantique

Cas d'usage

Problème
math

4- Echelle de notation

Méthodologie

Étapes d'évaluation:

- Identification du cas d'usage

- Mise en lien du cas d'usage avec le problème mathématique sous-jacent:

Objectifs :

- Gagner en **abstraction**
 - Visualiser la **diversité** des **problèmes** adressés par les méthodes quantiques
 - Identifier les différentes **formulations** de problèmes
 - Faire le **lien** avec d'autres **cas d'usage** (découverte de nouveaux domaines)
- Identifier les simplifications/approximations faites à partir du problème initial
 - ex : Problèmes de chimie quantique
 - ex : Problème d'optimisation combinatoire

Cas d'usage

Problème
math

4- Echelle de notation

Méthodologie

Étapes d'évaluation:

- Identification du cas d'usage

- Mise en lien du cas d'usage avec le problème mathématique sous-jacent:

Objectifs :

- Gagner en **abstraction**
 - Visualiser la **diversité** des **problèmes** adressés par les méthodes quantiques
 - Identifier les différentes **formulations** de problèmes
 - Faire le **lien** avec d'autres **cas d'usage** (découverte de nouveaux domaines)
- Identifier les simplifications/approximations faites à partir du problème initial
 - ex : Problèmes de chimie quantique
 - ex : Problème d'optimisation combinatoire
- => Souvent imposées par des **contraintes algorithmiques/matérielles**

Cas d'usage

Problème
math

4- Echelle de notation

Méthodologie

Étapes d'évaluation:

Cas d'usage

- Identification du cas d'usage

- Mise en lien du cas d'usage avec le problème mathématique sous-jacent:

Objectifs :

- Gagner en **abstraction**
- Visualiser la **diversité** des **problèmes** adressés par les méthodes quantiques
- Identifier les différentes **formulations** de problèmes
- Faire le **lien** avec d'autres **cas d'usage** (découverte de nouveaux domaines)
- Identifier les simplifications/approximations faites à partir du problème initial
 - ex : Problèmes de chimie quantique
 - ex : Problème d'optimisation combinatoire

=> Souvent imposées par des **contraintes algorithmiques/matérielles**
- Identifier l'algorithme utilisé pour résoudre le problème

Problème
math

Algo

4- Echelle de notation

Méthodologie

Étapes d'évaluation:

Cas d'usage

- Identification du cas d'usage

- Mise en lien du cas d'usage avec le problème mathématique sous-jacent:

Objectifs :

- Gagner en **abstraction**
- Visualiser la **diversité** des **problèmes** adressés par les méthodes quantiques
- Identifier les différentes **formulations** de problèmes
- Faire le **lien** avec d'autres **cas d'usage** (découverte de nouveaux domaines)

- Identifier les simplifications/approximations faites à partir du problème initial

- ex : Problèmes de chimie quantique
- ex : Problème d'optimisation combinatoire

=> Souvent imposées par des **contraintes algorithmiques/matérielles**

Algo

- Identifier l'algorithme utilisé pour résoudre le problème

=> L'identification des simplifications permet d'évaluer la capacité de l'algorithme à résoudre un problème complexe



4- Echelle de notation

Description du code couleur

4- Echelle de notation

Description du code couleur

Signification:

Quantique << Classique

4- Echelle de notation

Description du code couleur

Signification:

- Algorithme ayant été éprouvé.

Quantique << Classique

4- Echelle de notation

Description du code couleur

Quantique << Classique

Signification:

- Algorithme ayant été éprouvé.
- Les estimations de ressources et coûts supplémentaires liés à l'algorithme quantique démontrent certaines limitations.

4- Echelle de notation

Description du code couleur

Quantique << Classique

Signification:

- Algorithme ayant été éprouvé.
- Les estimations de ressources et coûts supplémentaires liés à l'algorithme quantique démontrent certaines limitations.
- Présence de plusieurs verrous bloquant la réalisation d'un avantage quantique (coût supplémentaire).

4- Echelle de notation

Description du code couleur

Quantique << Classique

Signification:

- Algorithme ayant été éprouvé.
- Les estimations de ressources et coûts supplémentaires liés à l'algorithme quantique démontrent certaines limitations.
- Présence de plusieurs verrous bloquant la réalisation d'un avantage quantique (coût supplémentaire).
- Chance d'impacter des industries: quasi nulle.

4- Echelle de notation

Description du code couleur

Quantique << Classique

Signification:

- Algorithme ayant été éprouvé.
- Les estimations de ressources et coûts supplémentaires liés à l'algorithme quantique démontrent certaines limitations.
- Présence de plusieurs verrous bloquant la réalisation d'un avantage quantique (coût supplémentaire).
- Chance d'impacter des industries: quasi nulle.

Signification:

Quantique < Classique

4- Echelle de notation

Description du code couleur

Quantique << Classique

Signification:

- Algorithme ayant été éprouvé.
- Les estimations de ressources et coûts supplémentaires liés à l'algorithme quantique démontrent certaines limitations.
- Présence de plusieurs verrous bloquant la réalisation d'un avantage quantique (coût supplémentaire).
- Chance d'impacter des industries: quasi nulle.

Quantique < Classique

Signification:

- Algorithme ayant un potentiel intéressant sur un sous-ensemble d'instances spécifiques (études de passage à l'échelle).

4- Echelle de notation

Description du code couleur

Quantique << Classique

Signification:

- Algorithme ayant été éprouvé.
- Les estimations de ressources et coûts supplémentaires liés à l'algorithme quantique démontrent certaines limitations.
- Présence de plusieurs verrous bloquant la réalisation d'un avantage quantique (coût supplémentaire).
- Chance d'impacter des industries: quasi nulle.

Quantique < Classique

Signification:

- Algorithme ayant un potentiel intéressant sur un sous-ensemble d'instances spécifiques (études de passage à l'échelle).
- Présence d'un seul verrou majeur.

4- Echelle de notation

Description du code couleur

Quantique << Classique

Signification:

- Algorithme ayant été éprouvé.
- Les estimations de ressources et coûts supplémentaires liés à l'algorithme quantique démontrent certaines limitations.
- Présence de plusieurs verrous bloquant la réalisation d'un avantage quantique (coût supplémentaire).
- Chance d'impacter des industries: quasi nulle.

Quantique < Classique

Signification:

- Algorithme ayant un potentiel intéressant sur un sous-ensemble d'instances spécifiques (études de passage à l'échelle).
- Présence d'un seul verrou majeur.
- Algorithme ayant uniquement été exécuté sur des problèmes de taille triviale (preuve de concept).

4- Echelle de notation

Description du code couleur

Quantique << Classique

Signification:

- Algorithme ayant été éprouvé.
- Les estimations de ressources et coûts supplémentaires liés à l'algorithme quantique démontrent certaines limitations.
- Présence de plusieurs verrous bloquant la réalisation d'un avantage quantique (coût supplémentaire).
- Chance d'impacter des industries: quasi nulle.

Quantique < Classique

Signification:

- Algorithme ayant un potentiel intéressant sur un sous-ensemble d'instances spécifiques (études de passage à l'échelle).
- Présence d'un seul verrou majeur.
- Algorithme ayant uniquement été exécuté sur des problèmes de taille triviale (preuve de concept).
- Chance d'impacter des industries: très faible.



4- Echelle de notation

Description du code couleur

4- Echelle de notation

Description du code couleur

Quantique ~ Classique

4- Echelle de notation

Description du code couleur

Signification:

Quantique ~ Classique

4- Echelle de notation

Description du code couleur

Signification:

- Algorithme ayant été exécuté sur des problèmes de taille non triviale ayant une structure spécifique.

Quantique ~ Classique

4- Echelle de notation

Description du code couleur

Signification:

- Algorithme ayant été exécuté sur des problèmes de taille non triviale ayant une structure spécifique.
- Présence de limites théoriques empêchant le passage à l'échelle.

Quantique ~ Classique

4- Echelle de notation

Description du code couleur

Quantique ~ Classique

Signification:

- Algorithme ayant été exécuté sur des problèmes de taille non triviale ayant une structure spécifique.
- Présence de limites théoriques empêchant le passage à l'échelle.
- L'ordinateur quantique est compétitif sur certaines instances spécifiques.

4- Echelle de notation

Description du code couleur

Quantique ~ Classique

Signification:

- Algorithme ayant été exécuté sur des problèmes de taille non triviale ayant une structure spécifique.
- Présence de limites théoriques empêchant le passage à l'échelle.
- L'ordinateur quantique est compétitif sur certaines instances spécifiques.
- L'utilisation de méthodes classiques de l'état de l'art fournissent en général des solutions de meilleure qualité (en particulier lorsque celles-ci sont adaptées).

4- Echelle de notation

Description du code couleur

Quantique ~ Classique

Signification:

- Algorithme ayant été exécuté sur des problèmes de taille non triviale ayant une structure spécifique.
- Présence de limites théoriques empêchant le passage à l'échelle.
- L'ordinateur quantique est compétitif sur certaines instances spécifiques.
- L'utilisation de méthodes classiques de l'état de l'art fournissent en général des solutions de meilleure qualité (en particulier lorsque celles-ci sont adaptées).
- Chance d'impacter des industries: faible.

4- Echelle de notation

Description du code couleur

Quantique ~ Classique

Signification:

- Algorithme ayant été exécuté sur des problèmes de taille non triviale ayant une structure spécifique.
- Présence de limites théoriques empêchant le passage à l'échelle.
- L'ordinateur quantique est compétitif sur certaines instances spécifiques.
- L'utilisation de méthodes classiques de l'état de l'art fournissent en général des solutions de meilleure qualité (en particulier lorsque celles-ci sont adaptées).
- Chance d'impacter des industries: faible.

Quantique $\approx$ Classique

4- Echelle de notation

Description du code couleur

Quantique ~ Classique

Signification:

- Algorithme ayant été exécuté sur des problèmes de taille non triviale ayant une structure spécifique.
- Présence de limites théoriques empêchant le passage à l'échelle.
- L'ordinateur quantique est compétitif sur certaines instances spécifiques.
- L'utilisation de méthodes classiques de l'état de l'art fournissent en général des solutions de meilleure qualité (en particulier lorsque celles-ci sont adaptées).
- Chance d'impacter des industries: faible.

Signification:

Quantique $\approx$ Classique

4- Echelle de notation

Description du code couleur

Quantique ~ Classique

Signification:

- Algorithme ayant été exécuté sur des problèmes de taille non triviale ayant une structure spécifique.
- Présence de limites théoriques empêchant le passage à l'échelle.
- L'ordinateur quantique est compétitif sur certaines instances spécifiques.
- L'utilisation de méthodes classiques de l'état de l'art fournissent en général des solutions de meilleure qualité (en particulier lorsque celles-ci sont adaptées).
- Chance d'impacter des industries: faible.

Quantique $\approx$ Classique

Signification:

- Algorithme ayant un potentiel intéressant en terme de capacité à passer à l'échelle. Cette capacité doit être justifiée.

4- Echelle de notation

Description du code couleur

Quantique ~ Classique

Signification:

- Algorithme ayant été exécuté sur des problèmes de taille non triviale ayant une structure spécifique.
- Présence de limites théoriques empêchant le passage à l'échelle.
- L'ordinateur quantique est compétitif sur certaines instances spécifiques.
- L'utilisation de méthodes classiques de l'état de l'art fournissent en général des solutions de meilleure qualité (en particulier lorsque celles-ci sont adaptées).
- Chance d'impacter des industries: faible.

Quantique $\approx$ Classique

Signification:

- Algorithme ayant un potentiel intéressant en terme de capacité à passer à l'échelle. Cette capacité doit être justifiée.
- Cet algorithme a déjà été appliqué à des problèmes de taille industrielle.

4- Echelle de notation

Description du code couleur

Quantique ~ Classique

Signification:

- Algorithme ayant été exécuté sur des problèmes de taille non triviale ayant une structure spécifique.
- Présence de limites théoriques empêchant le passage à l'échelle.
- L'ordinateur quantique est compétitif sur certaines instances spécifiques.
- L'utilisation de méthodes classiques de l'état de l'art fournissent en général des solutions de meilleure qualité (en particulier lorsque celles-ci sont adaptées).
- Chance d'impacter des industries: faible.

Quantique $\approx$ Classique

Signification:

- Algorithme ayant un potentiel intéressant en terme de capacité à passer à l'échelle. Cette capacité doit être justifiée.
- Cet algorithme a déjà été appliqué à des problèmes de taille industrielle.
- Les résultats produits par l'ordinateur quantique sont compétitifs.

4- Echelle de notation

Description du code couleur

Quantique ~ Classique

Signification:

- Algorithme ayant été exécuté sur des problèmes de taille non triviale ayant une structure spécifique.
- Présence de limites théoriques empêchant le passage à l'échelle.
- L'ordinateur quantique est compétitif sur certaines instances spécifiques.
- L'utilisation de méthodes classiques de l'état de l'art fournissent en général des solutions de meilleure qualité (en particulier lorsque celles-ci sont adaptées).
- Chance d'impacter des industries: faible.

Quantique $\approx$ Classique

Signification:

- Algorithme ayant un potentiel intéressant en terme de capacité à passer à l'échelle. Cette capacité doit être justifiée.
- Cet algorithme a déjà été appliqué à des problèmes de taille industrielle.
- Les résultats produits par l'ordinateur quantique sont compétitifs.
- Chance d'impacter des industries: moyen.



4- Echelle de notation

Description du code couleur

4- Echelle de notation

Description du code couleur

Signification:

Algorithmes
de référence

4- Echelle de notation

Description du code couleur

Algorithmes
de référence

Signification:

- Algorithme de référence employé pour un ensemble de tâches ou problèmes donnés.

4- Echelle de notation

Description du code couleur

Algorithmes
de référence

Signification:

- Algorithme de référence employé pour un ensemble de tâches ou problèmes donnés.
- Bonne maturité (historique de développement important).

4- Echelle de notation

Description du code couleur

Algorithmes
de référence

Signification:

- Algorithme de référence employé pour un ensemble de tâches ou problèmes donnés.
- Bonne maturité (historique de développement important).
- Algorithme déjà mis en place dans des cadres industriels.

4- Echelle de notation

Description du code couleur

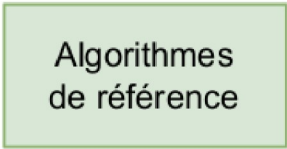
Algorithmes
de référence

Signification:

- Algorithme de référence employé pour un ensemble de tâches ou problèmes donnés.
- Bonne maturité (historique de développement important).
- Algorithme déjà mis en place dans des cadres industriels.
- Chance d'impacter des industries: forte.

4- Echelle de notation

Description du code couleur

A light green rectangular box with a thin black border, containing the text "Algorithmes de référence".

Algorithmes
de référence

Signification:

- Algorithme de référence employé pour un ensemble de tâches ou problèmes donnés.
- Bonne maturité (historique de développement important).
- Algorithme déjà mis en place dans des cadres industriels.
- Chance d'impacter des industries: forte.

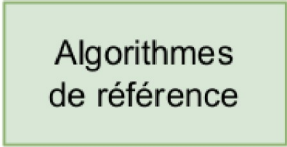
A dark green rectangular box with a thin black border, containing the text "Quantique > Classique".

Quantique > Classique

Signification:

4- Echelle de notation

Description du code couleur



Algorithmes
de référence

Signification:

- Algorithme de référence employé pour un ensemble de tâches ou problèmes donnés.
- Bonne maturité (historique de développement important).
- Algorithme déjà mis en place dans des cadres industriels.
- Chance d'impacter des industries: forte.



Quantique > Classique

Signification:

- Algorithme démontrant un avantage quantique empirique certain.

4- Echelle de notation

Description du code couleur

Algorithmes
de référence

Signification:

- Algorithme de référence employé pour un ensemble de tâches ou problèmes donnés.
- Bonne maturité (historique de développement important).
- Algorithme déjà mis en place dans des cadres industriels.
- Chance d'impacter des industries: forte.

Quantique > Classique

Signification:

- Algorithme démontrant un avantage quantique empirique certain.
- L'algorithme quantique est adopté par de nombreux industriels.

4- Echelle de notation

Description du code couleur

Algorithmes
de référence

Signification:

- Algorithme de référence employé pour un ensemble de tâches ou problèmes donnés.
- Bonne maturité (historique de développement important).
- Algorithme déjà mis en place dans des cadres industriels.
- Chance d'impacter des industries: forte.

Quantique > Classique

Signification:

- Algorithme démontrant un avantage quantique empirique certain.
- L'algorithme quantique est adopté par de nombreux industriels.
- Chance d'impacter des industries: très forte.

4- Echelle de notation

Description du code couleur

Algorithmes
de référence

Signification:

- Algorithme de référence employé pour un ensemble de tâches ou problèmes donnés.
- Bonne maturité (historique de développement important).
- Algorithme déjà mis en place dans des cadres industriels.
- Chance d'impacter des industries: forte.

Quantique > Classique

Signification:

- Algorithme démontrant un avantage quantique empirique certain.
- L'algorithme quantique est adopté par de nombreux industriels.
- Chance d'impacter des industries: très forte.

Littérature insuffisante

Signification:

4- Echelle de notation

Description du code couleur

Algorithmes
de référence

Signification:

- Algorithme de référence employé pour un ensemble de tâches ou problèmes donnés.
- Bonne maturité (historique de développement important).
- Algorithme déjà mis en place dans des cadres industriels.
- Chance d'impacter des industries: forte.

Quantique > Classique

Signification:

- Algorithme démontrant un avantage quantique empirique certain.
- L'algorithme quantique est adopté par de nombreux industriels.
- Chance d'impacter des industries: très forte.

Littérature insuffisante

Signification:

- Méthode récente n'ayant que peu de littérature (immature).

4- Echelle de notation

Description du code couleur

Algorithmes
de référence

Signification:

- Algorithme de référence employé pour un ensemble de tâches ou problèmes donnés.
- Bonne maturité (historique de développement important).
- Algorithme déjà mis en place dans des cadres industriels.
- Chance d'impacter des industries: forte.

Quantique > Classique

Signification:

- Algorithme démontrant un avantage quantique empirique certain.
- L'algorithme quantique est adopté par de nombreux industriels.
- Chance d'impacter des industries: très forte.

Littérature insuffisante

Signification:

- Méthode récente n'ayant que peu de littérature (immature).
- Doutes sur l'apport réel de la partie quantique (calcul hybride).

4- Echelle de notation

Description du code couleur

Algorithmes
de référence

Signification:

- Algorithme de référence employé pour un ensemble de tâches ou problèmes donnés.
- Bonne maturité (historique de développement important).
- Algorithme déjà mis en place dans des cadres industriels.
- Chance d'impacter des industries: forte.

Quantique > Classique

Signification:

- Algorithme démontrant un avantage quantique empirique certain.
- L'algorithme quantique est adopté par de nombreux industriels.
- Chance d'impacter des industries: très forte.

Littérature insuffisante

Signification:

- Méthode récente n'ayant que peu de littérature (immature).
- Doutes sur l'apport réel de la partie quantique (calcul hybride).
- Incapacité de juger l'approche.

4- Echelle de notation

Description du code couleur

Algorithmes
de référence

Signification:

- Algorithme de référence employé pour un ensemble de tâches ou problèmes donnés.
- Bonne maturité (historique de développement important).
- Algorithme déjà mis en place dans des cadres industriels.
- Chance d'impacter des industries: forte.

Quantique > Classique

Signification:

- Algorithme démontrant un avantage quantique empirique certain.
- L'algorithme quantique est adopté par de nombreux industriels.
- Chance d'impacter des industries: très forte.

Littérature insuffisante

Signification:

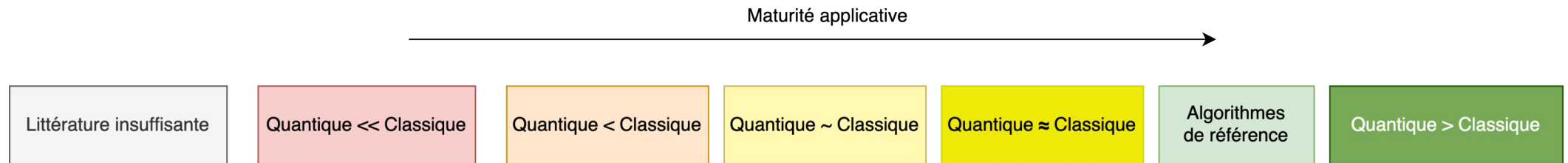
- Méthode récente n'ayant que peu de littérature (immature).
- Doutes sur l'apport réel de la partie quantique (calcul hybride).
- Incapacité de juger l'approche.
- Chance d'impacter des industries: faible à court terme car immature.



Notations

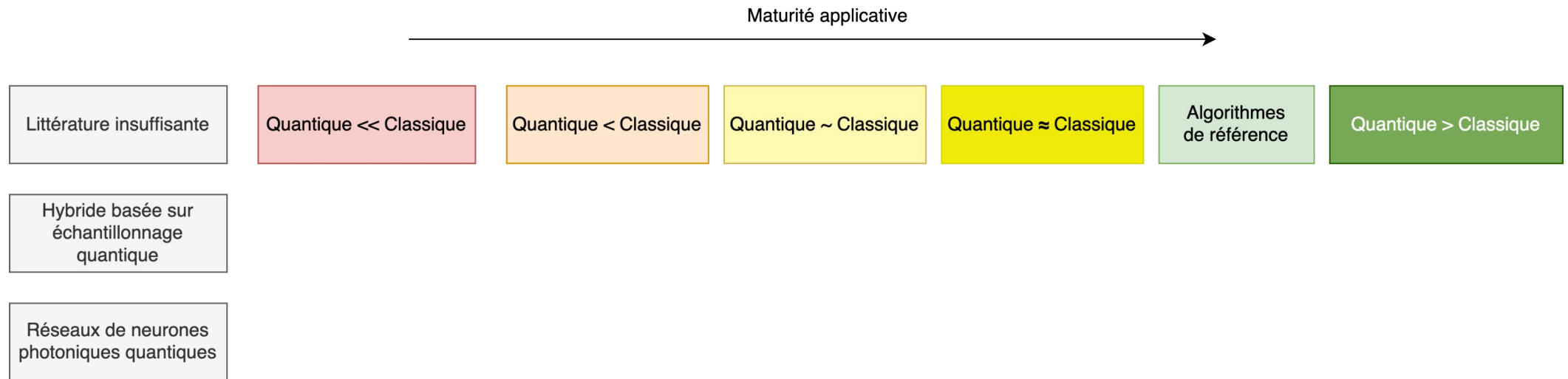
5- Notations

Répartition du code couleur par algorithme



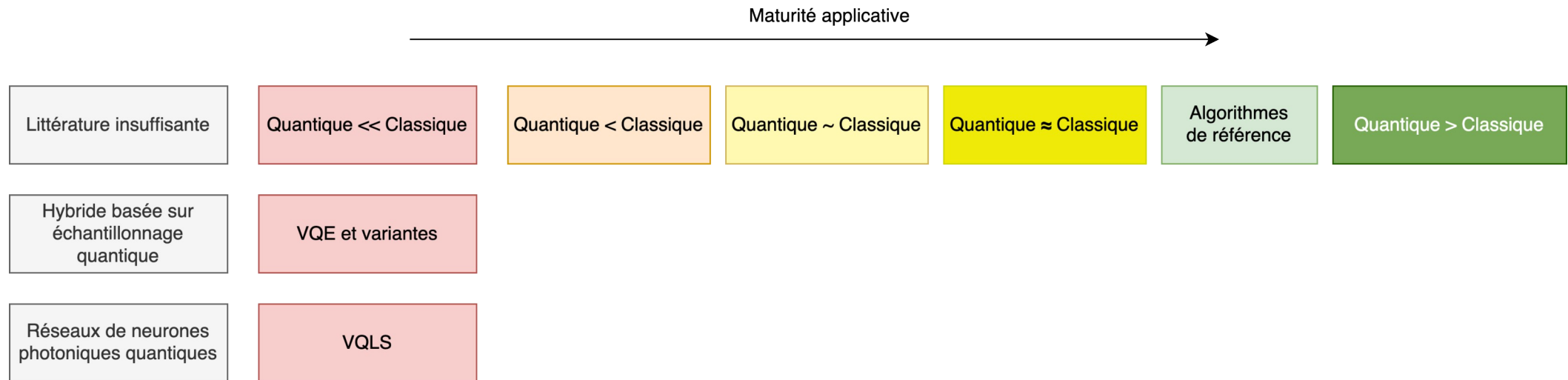
5- Notations

Répartition du code couleur par algorithme



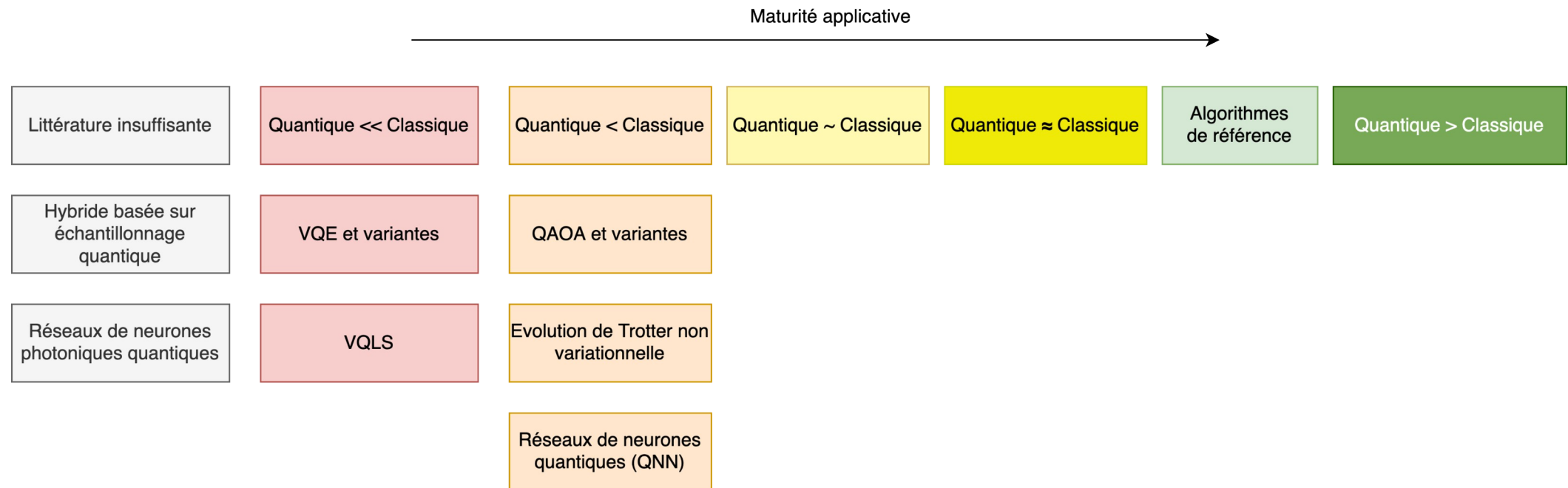
5- Notations

Répartition du code couleur par algorithme



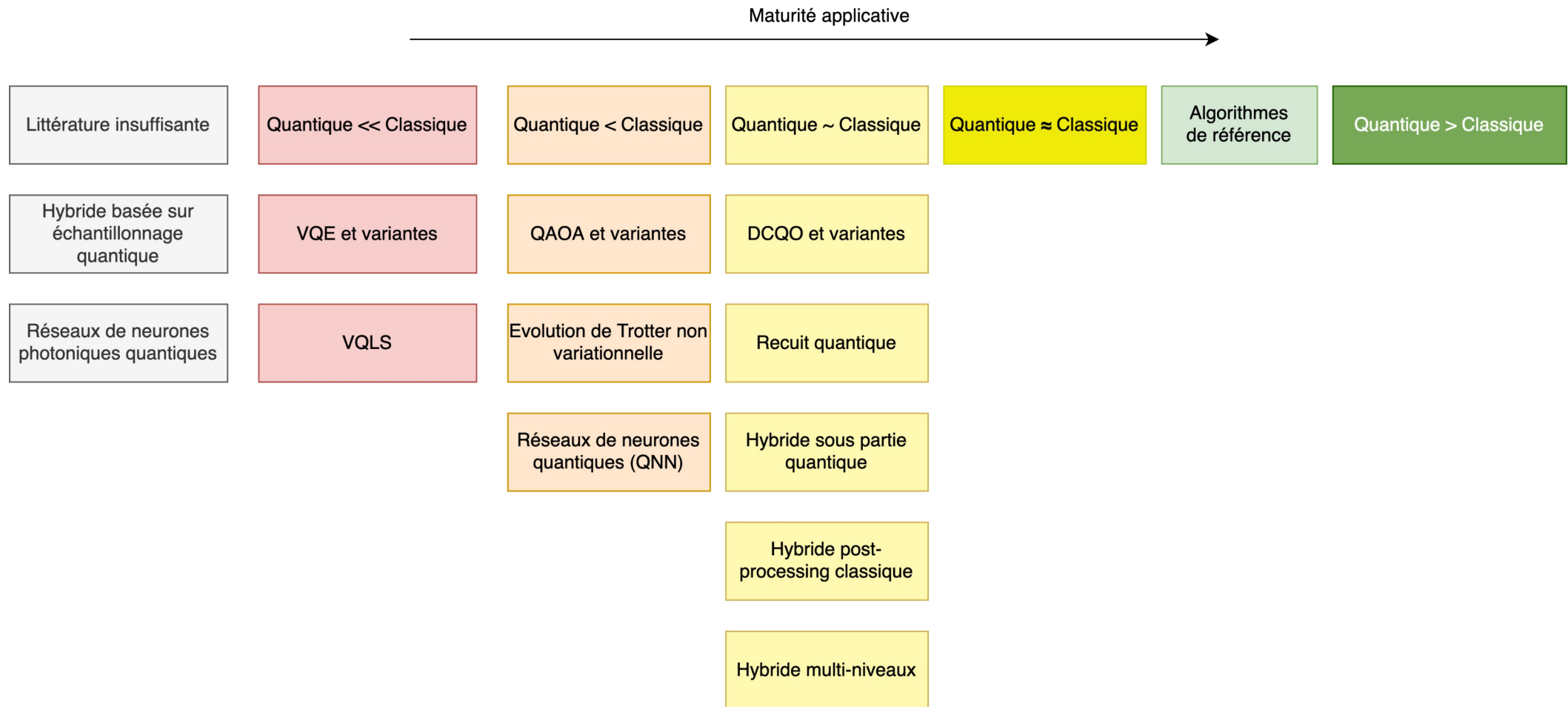
5- Notations

Répartition du code couleur par algorithme



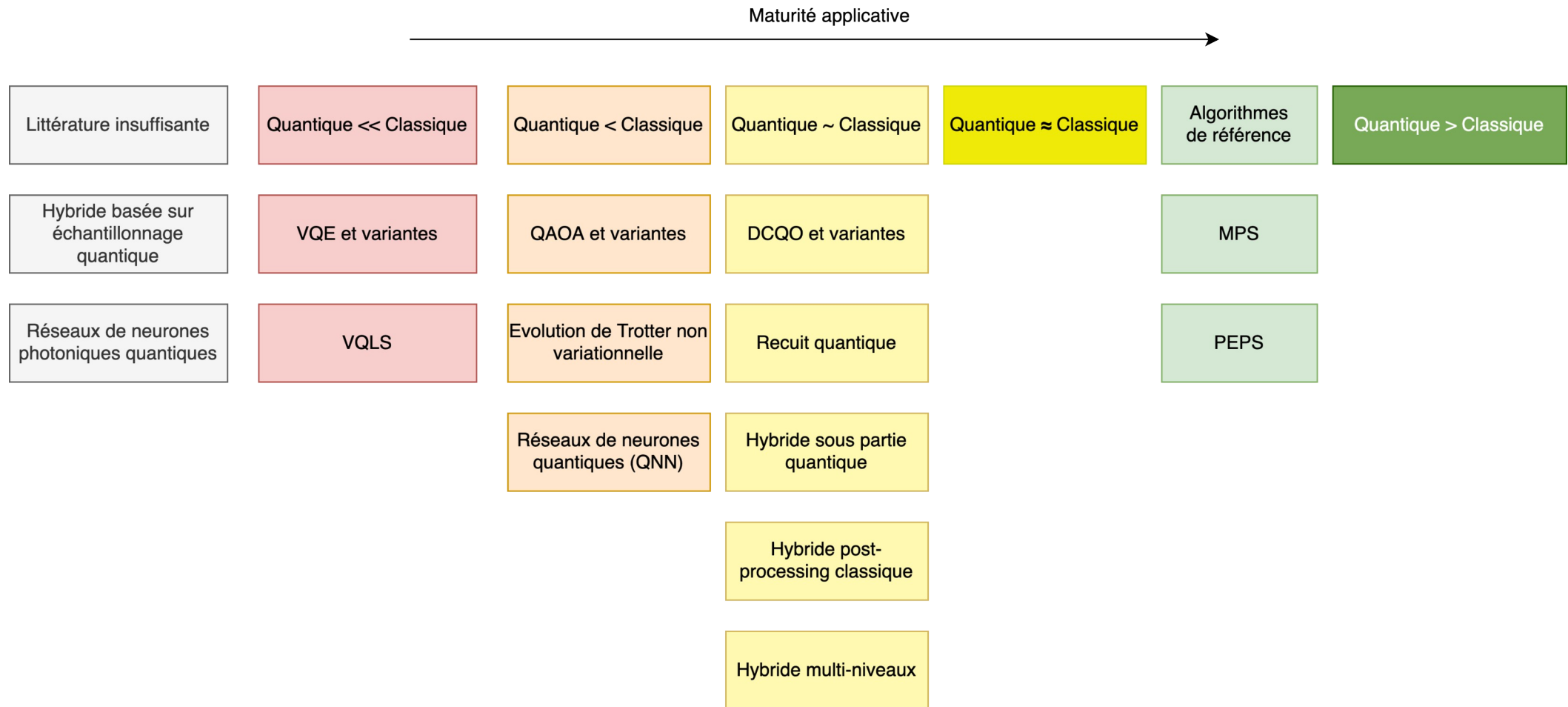
5- Notations

Répartition du code couleur par algorithme



5- Notations

Répartition du code couleur par algorithme



5- Notations

Problèmes de chimie et physique théorique

5- Notations

Problèmes de chimie et physique théorique

VQE et variantes

5- Notations

Problèmes de chimie et physique théorique

VQE et variantes

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

5- Notations

Problèmes de chimie et physique théorique

VQE et variantes

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes
(IBM, Quantinuum, IonQ ...)

5- Notations

Problèmes de chimie et physique théorique

VQE et variantes

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes
(IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

5- Notations

Problèmes de chimie et physique théorique

VQE et variantes

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes
(IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

- Très **éprouvé** par la littérature

5- Notations

Problèmes de chimie et physique théorique

VQE et variantes

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes
(IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

- Très **éprouvé** par la littérature

Limitations:

5- Notations

Problèmes de chimie et physique théorique

VQE et variantes

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes
(IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

- Très **éprouvé** par la littérature

Limitations:

- **Nombre d'échantillons** requis très important

5- Notations

Problèmes de chimie et physique théorique

VQE et variantes

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes
(IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

- Très **éprouvé** par la littérature

Limitations:

- **Nombre d'échantillons** requis très important
- Limitation de **précision** et donc de la capacité à adresser des problèmes de taille importante

5- Notations

Problèmes de chimie et physique théorique

VQE et variantes

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes
(IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

- Très **éprouvé** par la littérature

Limitations:

- **Nombre d'échantillons** requis très important
- Limitation de **précision** et donc de la capacité à adresser des problèmes de taille importante
- **Circuits profonds** si conservation et exploitation de la structure du problème

5- Notations

Problèmes de chimie et physique théorique

VQE et variantes

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes
(IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

- Très **éprouvé** par la littérature

Limitations:

- **Nombre d'échantillons** requis très important
- Limitation de **précision** et donc de la capacité à adresser des problèmes de taille importante
- **Circuits profonds** si conservation et exploitation de la structure du problème
- Uniquement démontré sur de petites molécules (**preuve de concept**)

5- Notations

Problèmes de chimie et physique théorique

VQE et variantes

MPS

PEPS

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes
(IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

- Très **éprouvé** par la littérature

Limitations:

- **Nombre d'échantillons** requis très important
- Limitation de **précision** et donc de la capacité à adresser des problèmes de taille importante
- **Circuits profonds** si conservation et exploitation de la structure du problème
- Uniquement démontré sur de petites molécules (**preuve de concept**)

5- Notations

Problèmes de chimie et physique théorique

VQE et variantes

MPS

PEPS

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

Type d'algorithme: Algorithme classique

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes
(IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

- Très **éprouvé** par la littérature

Limitations:

- **Nombre d'échantillons** requis très important
- Limitation de **précision** et donc de la capacité à adresser des problèmes de taille importante
- **Circuits profonds** si conservation et exploitation de la structure du problème
- Uniquement démontré sur de petites molécules (**preuve de concept**)

5- Notations

Problèmes de chimie et physique théorique

VQE et variantes

MPS

PEPS

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

Type d'algorithme: Algorithme classique

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes (IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Compatibilités : Ordinateurs classiques

Avantages :

- Très **éprouvé** par la littérature

Limitations:

- **Nombre d'échantillons** requis très important
- Limitation de **précision** et donc de la capacité à adresser des problèmes de taille importante
- **Circuits profonds** si conservation et exploitation de la structure du problème
- Uniquement démontré sur de petites molécules (**preuve de concept**)

5- Notations

Problèmes de chimie et physique théorique

VQE et variantes

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes (IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

- Très **éprouvé** par la littérature

Limitations:

- **Nombre d'échantillons** requis très important
- Limitation de **précision** et donc de la capacité à adresser des problèmes de taille importante
- **Circuits profonds** si conservation et exploitation de la structure du problème
- Uniquement démontré sur de petites molécules (**preuve de concept**)

MPS

PEPS

Type d'algorithme: Algorithme classique

Compatibilités : Ordinateurs classiques

Avantages :

5- Notations

Problèmes de chimie et physique théorique

VQE et variantes

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes (IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

- Très **éprouvé** par la littérature

Limitations:

- **Nombre d'échantillons** requis très important
- Limitation de **précision** et donc de la capacité à adresser des problèmes de taille importante
- **Circuits profonds** si conservation et exploitation de la structure du problème
- Uniquement démontré sur de petites molécules (**preuve de concept**)

MPS

PEPS

Type d'algorithme: Algorithme classique

Compatibilités : Ordinateurs classiques

Avantages :

- Actuellement utilisés pour la **résolution de problèmes** de taille **industrielle**. Méthode solide et éprouvée

5- Notations

Problèmes de chimie et physique théorique

VQE et variantes

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes (IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

- Très **éprouvé** par la littérature

Limitations:

- **Nombre d'échantillons** requis très important
- Limitation de **précision** et donc de la capacité à adresser des problèmes de taille importante
- **Circuits profonds** si conservation et exploitation de la structure du problème
- Uniquement démontré sur de petites molécules (**preuve de concept**)

MPS

PEPS

Type d'algorithme: Algorithme classique

Compatibilités : Ordinateurs classiques

Avantages :

- Actuellement utilisés pour la **résolution de problèmes** de taille **industrielle**. Méthode solide et éprouvée
- Permet de d'**exploiter** la **structure** du problème (symétries, interactions locales, degré d'intrication)

5- Notations

Problèmes de chimie et physique théorique

VQE et variantes

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes (IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

- Très **éprouvé** par la littérature

Limitations:

- **Nombre d'échantillons** requis très important
- Limitation de **précision** et donc de la capacité à adresser des problèmes de taille importante
- **Circuits profonds** si conservation et exploitation de la structure du problème
- Uniquement démontré sur de petites molécules (**preuve de concept**)

MPS

PEPS

Type d'algorithme: Algorithme classique

Compatibilités : Ordinateurs classiques

Avantages :

- Actuellement utilisés pour la **résolution de problèmes** de taille **industrielle**. Méthode solide et éprouvée
- Permet de d'**exploiter** la **structure** du problème (symétries, interactions locales, degré d'intrication)
- **Langage de description** visuel

5- Notations

Problèmes de chimie et physique théorique

VQE et variantes

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes (IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

- Très **éprouvé** par la littérature

Limitations:

- **Nombre d'échantillons** requis très important
- Limitation de **précision** et donc de la capacité à adresser des problèmes de taille importante
- **Circuits profonds** si conservation et exploitation de la structure du problème
- Uniquement démontré sur de petites molécules (**preuve de concept**)

MPS

PEPS

Type d'algorithme: Algorithme classique

Compatibilités : Ordinateurs classiques

Avantages :

- Actuellement utilisés pour la **résolution de problèmes** de taille **industrielle**. Méthode solide et éprouvée
- Permet de d'**exploiter** la **structure** du problème (symétries, interactions locales, degré d'intrication)
- **Langage de description** visuel

Limitations:

5- Notations

Problèmes de chimie et physique théorique

VQE et variantes

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes (IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

- Très **éprouvé** par la littérature

Limitations:

- **Nombre d'échantillons** requis très important
- Limitation de **précision** et donc de la capacité à adresser des problèmes de taille importante
- **Circuits profonds** si conservation et exploitation de la structure du problème
- Uniquement démontré sur de petites molécules (**preuve de concept**)

MPS

PEPS

Type d'algorithme: Algorithme classique

Compatibilités : Ordinateurs classiques

Avantages :

- Actuellement utilisés pour la **résolution de problèmes** de taille **industrielle**. Méthode solide et éprouvée
- Permet de d'**exploiter** la **structure** du problème (symétries, interactions locales, degré d'intrication)
- **Langage de description** visuel

Limitations:

- Performance limitée pour la simulation de **systèmes** quantiques **fortement intriqués** (ces types de problèmes ne sont actuellement pas résolus par des systèmes quantiques)

5- Notations

Problèmes d'optimisation

5- Notations

Problèmes d'optimisation

QAOA et variantes

5- Notations

Problèmes d'optimisation

QAOA et variantes

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

5- Notations

Problèmes d'optimisation

QAOA et variantes

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes
(IBM, Quantinuum, IonQ ...)

5- Notations

Problèmes d'optimisation

QAOA et variantes

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes
(IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

5- Notations

Problèmes d'optimisation

QAOA et variantes

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes
(IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

- Algorithmes exécutés sur des **problèmes de taille intermédiaire** (non triviaux).

5- Notations

Problèmes d'optimisation

QAOA et variantes

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes
(IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

- Algorithmes exécutés sur des **problèmes de taille intermédiaire** (non triviaux).
- Etudes encourageantes concernant le **passage à l'échelle** de cette méthode pour des problèmes spécifiques.

5- Notations

Problèmes d'optimisation

QAOA et variantes

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes
(IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

- Algorithmes exécutés sur des **problèmes de taille intermédiaire** (non triviaux).
- Etudes encourageantes concernant le **passage à l'échelle** de cette méthode pour des problèmes spécifiques.

Limitations:

5- Notations

Problèmes d'optimisation

QAOA et variantes

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes
(IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

- Algorithmes exécutés sur des **problèmes de taille intermédiaire** (non triviaux).
- Etudes encourageantes concernant le **passage à l'échelle** de cette méthode pour des problèmes spécifiques.

Limitations:

- **Circuits profonds** si conservation et exploitation de la structure du problème.

5- Notations

Problèmes d'optimisation

QAOA et variantes

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes (IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

- Algorithmes exécutés sur des **problèmes de taille intermédiaire** (non triviaux).
- Etudes encourageantes concernant le **passage à l'échelle** de cette méthode pour des problèmes spécifiques.

Limitations:

- **Circuits profonds** si conservation et exploitation de la structure du problème.
- Uniquement démontrés sur des plateformes pouvant être **simulées classiquement**.

5- Notations

Problèmes d'optimisation

QAOA et variantes

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes (IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

- Algorithmes exécutés sur des **problèmes de taille intermédiaire** (non triviaux).
- Etudes encourageantes concernant le **passage à l'échelle** de cette méthode pour des problèmes spécifiques.

Limitations:

- **Circuits profonds** si conservation et exploitation de la structure du problème.
- Uniquement démontrés sur des plateformes pouvant être **simulées classiquement**.
- **Non compétitifs** face à de réels solvers commerciaux

5- Notations

Problèmes d'optimisation

QAOA et variantes

Recuit quantique

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes (IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

- Algorithmes exécutés sur des **problèmes de taille intermédiaire** (non triviaux).
- Etudes encourageantes concernant le **passage à l'échelle** de cette méthode pour des problèmes spécifiques.

Limitations:

- **Circuits profonds** si conservation et exploitation de la structure du problème.
- Uniquement démontrés sur des plateformes pouvant être **simulées classiquement**.
- **Non compétitifs** face à de réels solvers commerciaux

5- Notations

Problèmes d'optimisation

QAOA et variantes

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes (IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

- Algorithmes exécutés sur des **problèmes de taille intermédiaire** (non triviaux).
- Etudes encourageantes concernant le **passage à l'échelle** de cette méthode pour des problèmes spécifiques.

Limitations:

- **Circuits profonds** si conservation et exploitation de la structure du problème.
- Uniquement démontrés sur des plateformes pouvant être **simulées classiquement**.
- **Non compétitifs** face à de réels solvers commerciaux

Recuit quantique

Type d'algorithme: Algorithme analogique

5- Notations

Problèmes d'optimisation

QAOA et variantes

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes (IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

- Algorithmes exécutés sur des **problèmes de taille intermédiaire** (non triviaux).
- Etudes encourageantes concernant le **passage à l'échelle** de cette méthode pour des problèmes spécifiques.

Limitations:

- **Circuits profonds** si conservation et exploitation de la structure du problème.
- Uniquement démontrés sur des plateformes pouvant être **simulées classiquement**.
- **Non compétitifs** face à de réels solvers commerciaux

Recuit quantique

Type d'algorithme: Algorithme analogique

Compatibilités : Ordinateurs analogiques (D-Wave, Pasqal, QuEra)

5- Notations

Problèmes d'optimisation

QAOA et variantes

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes (IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

- Algorithmes exécutés sur des **problèmes de taille intermédiaire** (non triviaux).
- Etudes encourageantes concernant le **passage à l'échelle** de cette méthode pour des problèmes spécifiques.

Limitations:

- **Circuits profonds** si conservation et exploitation de la structure du problème.
- Uniquement démontrés sur des plateformes pouvant être **simulées classiquement**.
- **Non compétitifs** face à de réels solvers commerciaux

Recuit quantique

Type d'algorithme: Algorithme analogique

Compatibilités : Ordinateurs analogiques (D-Wave, Pasqal, QuEra)

Avantages :

5- Notations

Problèmes d'optimisation

QAOA et variantes

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes (IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

- Algorithmes exécutés sur des **problèmes de taille intermédiaire** (non triviaux).
- Etudes encourageantes concernant le **passage à l'échelle** de cette méthode pour des problèmes spécifiques.

Limitations:

- **Circuits profonds** si conservation et exploitation de la structure du problème.
- Uniquement démontrés sur des plateformes pouvant être **simulées classiquement**.
- **Non compétitifs** face à de réels solvers commerciaux

Recuit quantique

Type d'algorithme: Algorithme analogique

Compatibilités : Ordinateurs analogiques (D-Wave, Pasqal, QuEra)

Avantages :

- Méthodes permettant d'adresser des **problèmes de taille intermédiaire** à conséquence.

5- Notations

Problèmes d'optimisation

QAOA et variantes

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes (IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

- Algorithmes exécutés sur des **problèmes de taille intermédiaire** (non triviaux).
- Etudes encourageantes concernant le **passage à l'échelle** de cette méthode pour des problèmes spécifiques.

Limitations:

- **Circuits profonds** si conservation et exploitation de la structure du problème.
- Uniquement démontrés sur des plateformes pouvant être **simulées classiquement**.
- **Non compétitifs** face à de réels solvers commerciaux

Recuit quantique

Type d'algorithme: Algorithme analogique

Compatibilités : Ordinateurs analogiques (D-Wave, Pasqal, QuEra)

Avantages :

- Méthodes permettant d'adresser des **problèmes de taille intermédiaire** à conséquente.
- Résultats pouvant être **compétitifs** sur des **instances très spécifiques**.

5- Notations

Problèmes d'optimisation

QAOA et variantes

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes (IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

- Algorithmes exécutés sur des **problèmes de taille intermédiaire** (non triviaux).
- Etudes encourageantes concernant le **passage à l'échelle** de cette méthode pour des problèmes spécifiques.

Limitations:

- **Circuits profonds** si conservation et exploitation de la structure du problème.
- Uniquement démontrés sur des plateformes pouvant être **simulées classiquement**.
- **Non compétitifs** face à de réels solvers commerciaux

Recuit quantique

Type d'algorithme: Algorithme analogique

Compatibilités : Ordinateurs analogiques (D-Wave, Pasqal, QuEra)

Avantages :

- Méthodes permettant d'adresser des **problèmes de taille intermédiaire** à conséquente.
- Résultats pouvant être **compétitifs** sur des **instances très spécifiques**.

5- Notations

Problèmes d'optimisation

QAOA et variantes

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes (IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

- Algorithmes exécutés sur des **problèmes de taille intermédiaire** (non triviaux).
- Etudes encourageantes concernant le **passage à l'échelle** de cette méthode pour des problèmes spécifiques.

Limitations:

- **Circuits profonds** si conservation et exploitation de la structure du problème.
- Uniquement démontrés sur des plateformes pouvant être **simulées classiquement**.
- **Non compétitifs** face à de réels solvers commerciaux

Recuit quantique

Type d'algorithme: Algorithme analogique

Compatibilités : Ordinateurs analogiques (D-Wave, Pasqal, QuEra)

Avantages :

- Méthodes permettant d'adresser des **problèmes de taille intermédiaire** à conséquence.
- Résultats pouvant être **compétitifs** sur des **instances très spécifiques**.

Limitations:

5- Notations

Problèmes d'optimisation

QAOA et variantes

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes (IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

- Algorithmes exécutés sur des **problèmes de taille intermédiaire** (non triviaux).
- Etudes encourageantes concernant le **passage à l'échelle** de cette méthode pour des problèmes spécifiques.

Limitations:

- **Circuits profonds** si conservation et exploitation de la structure du problème.
- Uniquement démontrés sur des plateformes pouvant être **simulées classiquement**.
- **Non compétitifs** face à de réels solvers commerciaux

Recuit quantique

Type d'algorithme: Algorithme analogique

Compatibilités : Ordinateurs analogiques (D-Wave, Pasqal, QuEra)

Avantages :

- Méthodes permettant d'adresser des **problèmes de taille intermédiaire** à conséquente.
- Résultats pouvant être **compétitifs** sur des **instances très spécifiques**.

Limitations:

- **Temps de résolution** pouvant être long.

5- Notations

Problèmes d'optimisation

QAOA et variantes

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes (IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

- Algorithmes exécutés sur des **problèmes de taille intermédiaire** (non triviaux).
- Etudes encourageantes concernant le **passage à l'échelle** de cette méthode pour des problèmes spécifiques.

Limitations:

- **Circuits profonds** si conservation et exploitation de la structure du problème.
- Uniquement démontrés sur des plateformes pouvant être **simulées classiquement**.
- **Non compétitifs** face à de réels solvers commerciaux

Recuit quantique

Type d'algorithme: Algorithme analogique

Compatibilités : Ordinateurs analogiques (D-Wave, Pasqal, QuEra)

Avantages :

- Méthodes permettant d'adresser des **problèmes de taille intermédiaire** à conséquence.
- Résultats pouvant être **compétitifs** sur des **instances très spécifiques**.

Limitations:

- **Temps de résolution** pouvant être long.
- Difficulté de **passer à l'échelle** (densité des puces, bruit).

5- Notations

Problèmes d'optimisation

QAOA et variantes

Type d'algorithme: Algorithme variationnel

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes (IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

- Algorithmes exécutés sur des **problèmes de taille intermédiaire** (non triviaux).
- Etudes encourageantes concernant le **passage à l'échelle** de cette méthode pour des problèmes spécifiques.

Limitations:

- **Circuits profonds** si conservation et exploitation de la structure du problème.
- Uniquement démontrés sur des plateformes pouvant être **simulées classiquement**.
- **Non compétitifs** face à de réels solvers commerciaux

Recuit quantique

Type d'algorithme: Algorithme analogique

Compatibilités : Ordinateurs analogiques (D-Wave, Pasqal, QuEra)

Avantages :

- Méthodes permettant d'adresser des **problèmes de taille intermédiaire** à conséquence.
- Résultats pouvant être **compétitifs** sur des **instances** très **spécifiques**.

Limitations:

- **Temps de résolution** pouvant être long.
- Difficulté de **passer à l'échelle** (densité des puces, bruit).
- **Non compétitifs** sur des **problèmes denses** et contraints.

5- Notations

Problèmes d'apprentissage

5- Notations

Problèmes d'apprentissage

Réseaux de neurones
quantiques (QNN)

5- Notations

Problèmes d'apprentissage

Réseaux de neurones
quantiques (QNN)

Type d'algorithme: Algorithmes analogiques

5- Notations

Problèmes d'apprentissage

Réseaux de neurones
quantiques (QNN)

Type d'algorithme: Algorithmes analogiques

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes
(IBM, Quantinuum, IonQ ...)

5- Notations

Problèmes d'apprentissage

Réseaux de neurones
quantiques (QNN)

Type d'algorithme: Algorithmes analogiques

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes
(IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

5- Notations

Problèmes d'apprentissage

Réseaux de neurones
quantiques (QNN)

Type d'algorithme: Algorithmes analogiques

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes
(IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

- **Quantité d'information** requise moindre par rapport à des méthodes classiques pour entraîner le réseau de neurones.

5- Notations

Problèmes d'apprentissage

Réseaux de neurones
quantiques (QNN)

Type d'algorithme: Algorithmes analogiques

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes
(IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

- **Quantité d'information** requise moindre par rapport à des méthodes classiques pour entraîner le réseau de neurones.

Limitations:

5- Notations

Problèmes d'apprentissage

Réseaux de neurones
quantiques (QNN)

Type d'algorithme: Algorithmes analogiques

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes
(IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

- **Quantité d'information** requise moindre par rapport à des méthodes classiques pour entraîner le réseau de neurones.

Limitations:

- Difficulté pour **encoder l'information** (sauf si celle-ci est quantique par nature).

5- Notations

Problèmes d'apprentissage

Réseaux de neurones
quantiques (QNN)

Type d'algorithme: Algorithmes analogiques

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes
(IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

- **Quantité d'information** requise moindre par rapport à des méthodes classiques pour entraîner le réseau de neurones.

Limitations:

- Difficulté pour **encoder l'information** (sauf si celle-ci est quantique par nature).
- L'**expressivité** du circuit variationnel tend à accroître la **profondeur du circuit**.

5- Notations

Problèmes d'apprentissage

Réseaux de neurones
quantiques (QNN)

Type d'algorithme: Algorithmes analogiques

Compatibilités : Ordinateurs universels à portes
(IBM, Quantinuum, IonQ ...)

Avantages :

- **Quantité d'information** requise moindre par rapport à des méthodes classiques pour entraîner le réseau de neurones.

Limitations:

- Difficulté pour **encoder l'information** (sauf si celle-ci est quantique par nature).
- L'**expressivité** du circuit variationnel tend à accroître la **profondeur du circuit**.
- Démonstré uniquement sur de petits réseaux de neurones (**preuve de concept**).

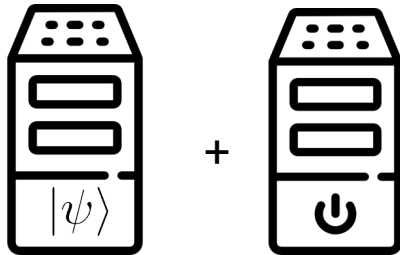
5- Notations

Méthodes hybrides

5- Notations

Méthodes hybrides

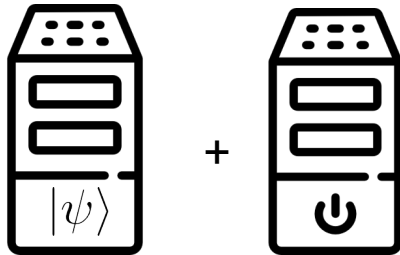
Quantique + post traitement classique



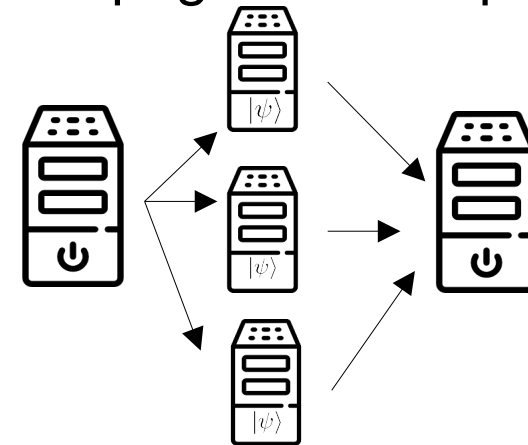
5- Notations

Méthodes hybrides

Quantique + post traitement classique



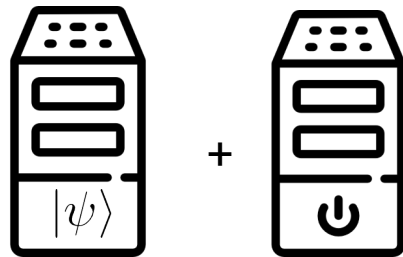
Découpage en sous parties



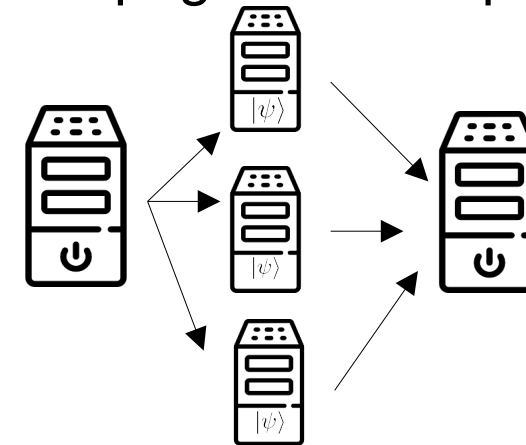
5- Notations

Méthodes hybrides

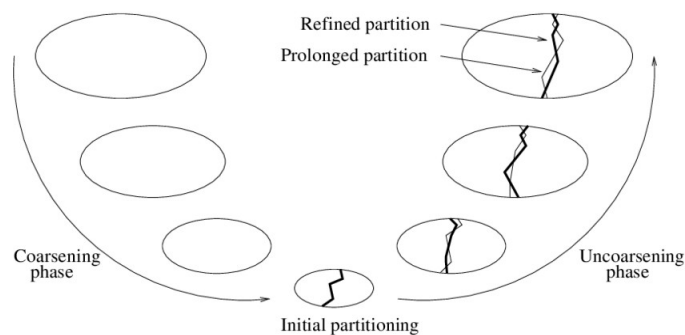
Quantique + post traitement classique



Découpage en sous parties



Approches multi-niveaux

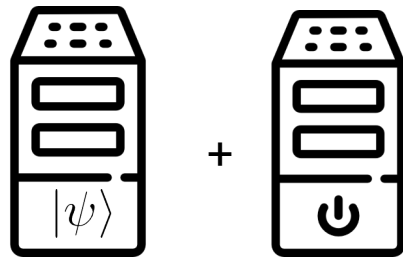


G. Pichon: On the use of low-rank arithmetic to reduce the complexity of parallel sparse linear solvers based on direct factorization techniques

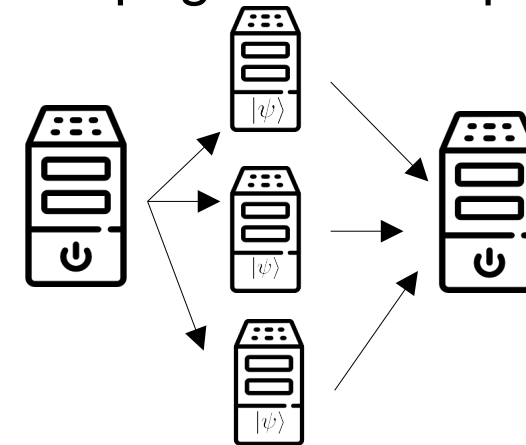
5- Notations

Méthodes hybrides

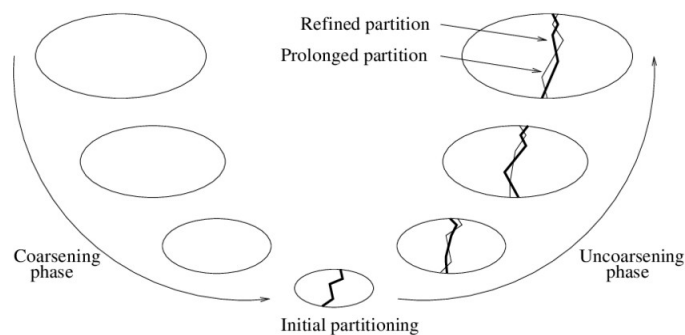
Quantique + post traitement classique



Découpage en sous parties

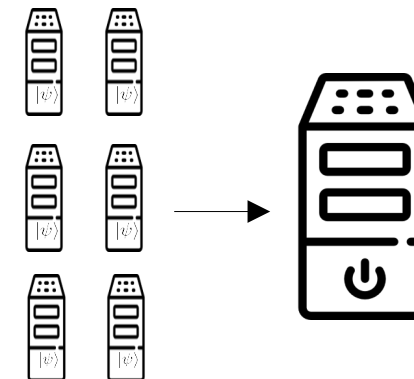


Approches multi-niveaux



G. Pichon: On the use of low-rank arithmetic to reduce the complexity of parallel sparse linear solvers based on direct factorization techniques

Résolution basée sur échantillons





5- Notations

Méthodes hybrides

5- Notations

Méthodes hybrides

Risque des solutions hybrides:

5- Notations

Méthodes hybrides

Risque des solutions hybrides:

- Déplacer la complexité de la résolution du problème dans la partie classique

5- Notations

Méthodes hybrides

Risque des solutions hybrides:

- Déplacer la complexité de la résolution du problème dans la partie classique

Recommandation:

5- Notations

Méthodes hybrides

Risque des solutions hybrides:

- Déplacer la complexité de la résolution du problème dans la partie classique

Recommandation:

- Identification de la sous-tâche résolue par l'ordinateur quantique

5- Notations

Méthodes hybrides

Risque des solutions hybrides:

- Déplacer la complexité de la résolution du problème dans la partie classique

Recommandation:

- Identification de la sous-tâche résolue par l'ordinateur quantique
- Vérifier que cette tâche a du sens

5- Notations

Méthodes hybrides

Risque des solutions hybrides:

- Déplacer la complexité de la résolution du problème dans la partie classique

Recommandation:

- Identification de la sous-tâche résolue par l'ordinateur quantique
- Vérifier que cette tâche a du sens
- Vérifier que cette tâche ne peut pas être résolue plus rapidement classiquement

5- Notations

Méthodes hybrides

Risque des solutions hybrides:

- Déplacer la complexité de la résolution du problème dans la partie classique

Recommandation:

- Identification de la sous-tâche résolue par l'ordinateur quantique
- Vérifier que cette tâche a du sens
- Vérifier que cette tâche ne peut pas être résolue plus rapidement classiquement
- Laisser mûrir la méthode

5- Notations

Méthodes hybrides

Risque des solutions hybrides:

- Déplacer la complexité de la résolution du problème dans la partie classique

Recommandation:

- Identification de la sous-tâche résolue par l'ordinateur quantique
- Vérifier que cette tâche a du sens
- Vérifier que cette tâche ne peut pas être résolue plus rapidement classiquement
- Laisser mûrir la méthode

Difficultés d'évaluation des méthodes hybrides:

5- Notations

Méthodes hybrides

Risque des solutions hybrides:

- Déplacer la complexité de la résolution du problème dans la partie classique

Recommandation:

- Identification de la sous-tâche résolue par l'ordinateur quantique
- Vérifier que cette tâche a du sens
- Vérifier que cette tâche ne peut pas être résolue plus rapidement classiquement
- Laisser mûrir la méthode

Difficultés d'évaluation des méthodes hybrides:

- Incertitude concernant le réel apport du quantique



Maturité des systèmes

6- Maturité des systèmes

Ordinateurs analogiques (D-Wave / Pasqal / QuEra)

		D-Wave [50]	Pasqal [51]	QuEra [52]
	Système Type	Advantage 2 Supraconducteurs	Fresnel Atomes neutres	Aquila Atomes neutres
Critère 1	#Qubits	Max 5000	Max 100	Max 256
	Topologie	Graphes bipartis éparses 20 conn max	Unit disk graph 5 conn max	Unit disk graph 5 conn max
	J_{ij}	oui	oui	oui
	h_i	oui	non	oui
Critère 2	f_{sample}	< 10 000	< 4	< 10
Critère 3	t_{anneal}	< 2000 μs	?	< 4 μs
	T_2^*	?	?	5.8 μs
Critère 4	Universalité	non	non	non

6- Maturité des systèmes

Ordinateurs analogiques (D-Wave / Pasqal / QuEra)

		D-Wave [50]	Pasqal [51]	QuEra [52]
	Système Type	Advantage 2 Supraconducteurs	Fresnel Atomes neutres	Aquila Atomes neutres
Critère 1	#Qubits	Max 5000	Max 100	Max 256
	Topologie	Graphes bipartis éparés 20 conn max	Unit disk graph 5 conn max	Unit disk graph 5 conn max
	J_{ij}	oui	oui	oui
	h_i	oui	non	oui
Critère 2	f_{sample}	< 10 000	< 4	< 10
Critère 3	t_{anneal}	< 2000 μs	?	< 4 μs
	T_2^*	?	?	5.8 μs
Critère 4	Universalité	non	non	non

6- Maturité des systèmes

Ordinateurs à portes (IBM / Quantinuum / IonQ / QuEra / Quandela)

		IBM [54]	Quantinuum [55]	IonQ [56]	Quera [57]	Quandela [58]
	Système	Héron	Helios	Forte	/	Lucy
	Type	Supraconducteurs	Ions piégés	Ions piégés	Atomes neutres	Photonique
Critère 1	#Qubits	156	98	34	> 60	12
	n-qubit	oui	oui	oui	oui	oui (probabiliste)
	Architecture	statique	mobile	statique	mobile	statique
	Topologie	Heavy-hex 3 connexions max	Zones connectivité complète	Chaine linéaire connectivité complète	Zones connectivité complète	Réseau optique
Critère 2	ϵ_{porte}	2×10^{-3} median	7.9×10^{-4} mean	4.6×10^{-3} median	5×10^{-3} mean	1×10^{-2} succès < 10% ¹
	#porte max	~ 500	~ 1250	~ 225	~ 200	0 ²
	t_{porte}	~ 100ns	~ 100μs ³	~ 100μs	~ 1 – 10μs ³	~ 10ns ⁴
Critère 4	Universalité	oui	oui	oui	oui	oui

6- Maturité des systèmes

Ordinateurs à portes (IBM / Quantinuum / IonQ / QuEra / Quandela)

		IBM [54]	Quantinuum [55]	IonQ [56]	Quera [57]	Quandela [58]
	Système	Héron	Helios	Forte	/	Lucy
	Type	Supraconducteurs	Ions piégés	Ions piégés	Atomes neutres	Photonique
Critère 1	#Qubits	156	98	34	> 60	12
	n-qubit	oui	oui	oui	oui	oui (probabiliste)
	Architecture	statique	mobile	statique	mobile	statique
	Topologie	Heavy-hex 3 connexions max	Zones connectivité complète	Chaine linéaire connectivité complète	Zones connectivité complète	Réseau optique
Critère 2	ϵ_{porte}	2×10^{-3} median	7.9×10^{-4} mean	4.6×10^{-3} median	5×10^{-3} mean	1×10^{-2} succès < 10% ¹
	#porte max	~ 500	~ 1250	~ 225	~ 200	0 ²
	t_{porte}	~ 100ns	~ 100μs ³	~ 100μs	~ 1 – 10μs ³	~ 10ns ⁴
Critère 4	Universalité	oui	oui	oui	oui	oui

6- Maturité des systèmes

Ordinateurs à portes (IBM / Quantinuum / IonQ / QuEra / Quandela)

		IBM [54]	Quantinuum [55]	IonQ [56]	Quera [57]	Quandela [58]
	Système	Héron	Helios	Forte	/	Lucy
	Type	Supraconducteurs	Ions piégés	Ions piégés	Atomes neutres	Photonique
Critère 1	#Qubits	156	98	34	> 60	12
	n-qubit	oui	oui	oui	oui	oui (probabiliste)
	Architecture	statique	mobile	statique	mobile	statique
	Topologie	Heavy-hex 3 connexions max	Zones connectivité complète	Chaine linéaire connectivité complète	Zones connectivité complète	Réseau optique
Critère 2	ϵ_{porte}	2×10^{-3} median	7.9×10^{-4} mean	4.6×10^{-3} median	5×10^{-3} mean	1×10^{-2} succès < 10% ¹
	#porte max	~ 500	~ 1250	~ 225	~ 200	0 ²
	t_{porte}	~ 100ns	~ 100μs ³	~ 100μs	~ 1 – 10μs ³	~ 10ns ⁴
Critère 4	Universalité	oui	oui	oui	oui	oui

6- Maturité des systèmes

Ordinateurs à portes (IBM / Quantinuum / IonQ / QuEra / Quandela)

		IBM [54]	Quantinuum [55]	IonQ [56]	Quera [57]	Quandela [58]
	Système	Héron	Helios	Forte	/	Lucy
	Type	Supraconducteurs	Ions piégés	Ions piégés	Atomes neutres	Photonique
Critère 1	#Qubits	156	98	34	> 60	12
	n-qubit	oui	oui	oui	oui	oui (probabiliste)
	Architecture	statique	mobile	statique	mobile	statique
	Topologie	Heavy-hex 3 connexions max	Zones connectivité complète	Chaine linéaire connectivité complète	Zones connectivité complète	Réseau optique
Critère 2	ϵ_{porte}	2×10^{-3} median	7.9×10^{-4} mean	4.6×10^{-3} median	5×10^{-3} mean	1×10^{-2} succès < 10% ¹
	#porte max	~ 500	~ 1250	~ 225	~ 200	0 ²
	t_{porte}	~ 100ns	~ 100μs ³	~ 100μs	~ 1 – 10μs ³	~ 10ns ⁴
Critère 4	Universalité	oui	oui	oui	oui	oui

6- Maturité des systèmes

Ordinateurs à portes (IBM / Quantinuum / IonQ / QuEra / Quandela)

		IBM [54]	Quantinuum [55]	IonQ [56]	Quera [57]	Quandela [58]
	Système	Héron	Helios	Forte	/	Lucy
	Type	Supraconducteurs	Ions piégés	Ions piégés	Atomes neutres	Photonique
Critère 1	#Qubits	156	98	34	> 60	12
	n-qubit	oui	oui	oui	oui	oui (probabiliste)
	Architecture	statique	mobile	statique	mobile	statique
	Topologie	Heavy-hex 3 connexions max	Zones connectivité complète	Chaine linéaire connectivité complète	Zones connectivité complète	Réseau optique
Critère 2	ϵ_{porte}	2×10^{-3} median	7.9×10^{-4} mean	4.6×10^{-3} median	5×10^{-3} mean	1×10^{-2} succès < 10% ¹
	#porte max	~ 500	~ 1250	~ 225	~ 200	0 ²
	t_{porte}	~ 100ns	~ 100 μs ³	~ 100 μs	~ 1 – 10 μs ³	~ 10ns ⁴
Critère 4	Universalité	oui	oui	oui	oui	oui

6- Maturité des systèmes

Ordinateurs à portes (IBM / Quantinuum / IonQ / QuEra / Quandela)

		IBM [54]	Quantinuum [55]	IonQ [56]	Quera [57]	Quandela [58]
	Système	Héron	Helios	Forte	/	Lucy
	Type	Supraconducteurs	Ions piégés	Ions piégés	Atomes neutres	Photonique
Critère 1	#Qubits	156	98	34	> 60	12
	n-qubit	oui	oui	oui	oui	oui (probabiliste)
	Architecture	statique	mobile	statique	mobile	statique
	Topologie	Heavy-hex 3 connexions max	Zones connectivité complète	Chaine linéaire connectivité complète	Zones connectivité complète	Réseau optique
Critère 2	ϵ_{porte}	2×10^{-3} median	7.9×10^{-4} mean	4.6×10^{-3} median	5×10^{-3} mean	1×10^{-2} succès < 10% ¹
	#porte max	~ 500	~ 1250	~ 225	~ 200	0 ²
	t_{porte}	~ 100ns	~ 100μs ³	~ 100μs	~ 1 – 10μs ³	~ 10ns ⁴
Critère 4	Universalité	oui	oui	oui	oui	oui



LIVRABLES



M LIVRABLES T H O D O L O G I E



LIVRABLES
M
T
H
O
D
O
L
O
G
E
STATISTIQUES

C M
LIVRABLES
R T
T H
O O
G D
R O
A L
P O
H G
STATISTIQUES
E E



C M
LIVRABLES
R T
T H
O D
O G
R A
P P
H H
STATISTIQUES
E E



C
LIVRABLES
R
T
O
R
G
R
A
P
H
I
STATISTIQUES
E

M
T
H
O
D
O
L
O
G
I
E

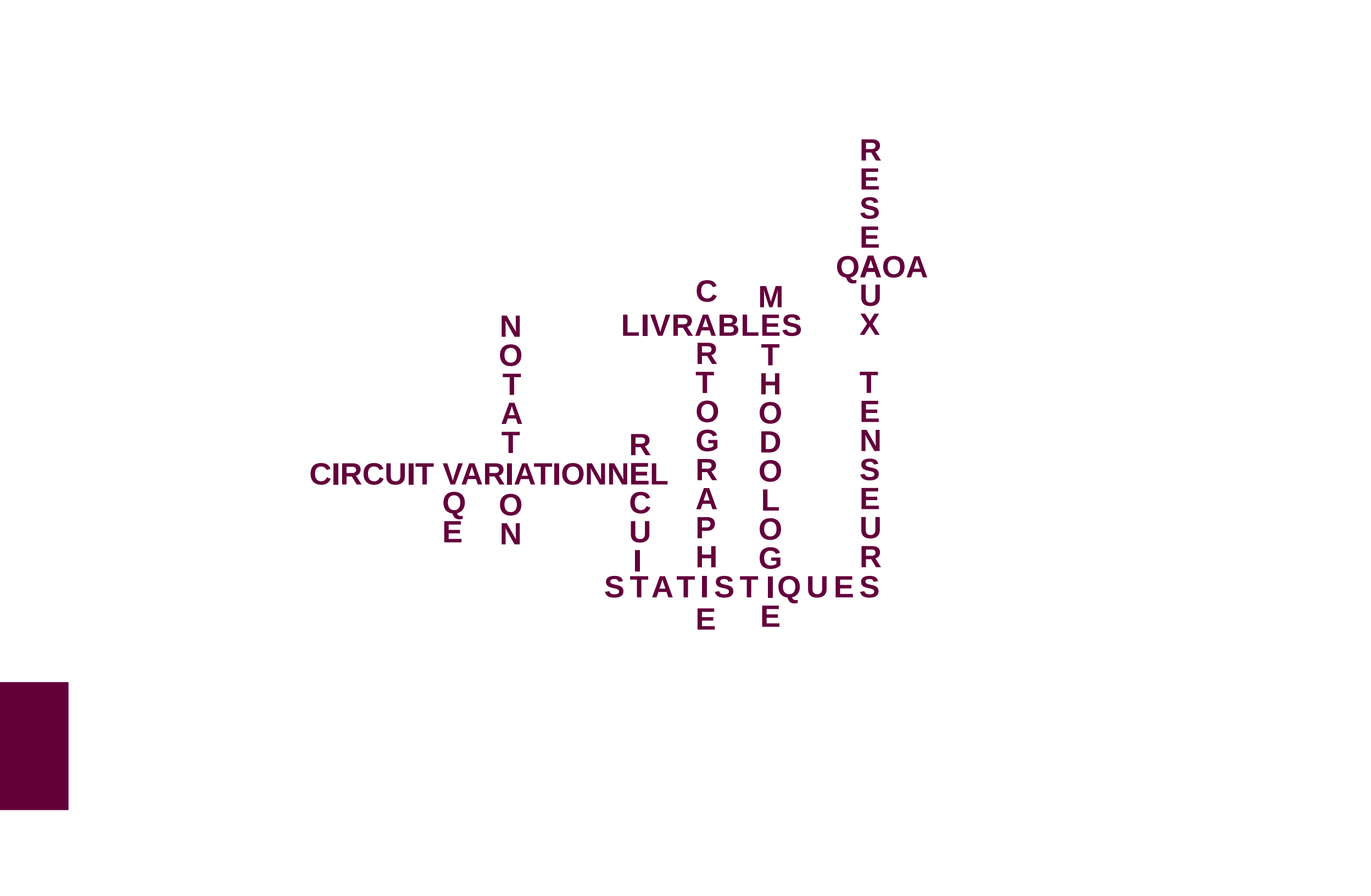
CIRCUIT VARIATIONNEL

CIRCUIT VARIATIONNEL
NOTATION
LIVRABLES
R
CUI
STATISTIQUES
C
R
T
O
G
R
A
P
H
E
M
T
H
O
D
O
L
O
G
E

CIRCUIT VARIATIONNEL
Q E N
N O T A T
LIVRABLES
R C U I
T O G R A P H
O D O L O G
E S T A T I S T I Q U E S
E E

CIRCUIT VARIATIONNEL
Q E
NOTAT
ON
LIVRABLES
R C
CUI STATISTIQUES
R T O G R A P H
M T H O D O L O G
RESEAU X
T E N S E U R





RESEAU
QAOA
TENSEUR
METHODOLOGIE
CARTOGRAPHIE
LIVRABLES
NOTATION
CIRCUIT VARIATIONNEL
STATISTIQUES
QUANTUM
ALGORITHME
PROBLEME
OPTIMISATION
REPRESENTATION
PROBABILITES
COMPLEXITE
RECHERCHE
MODELE
ANALYSE
SIMULATION
VERIFICATION
CONSTRUCTION
INTERPRETATION
VALIDATION
CALCUL
ESTIMATION
OPTIMISATION
RECHERCHE
MODELE
ANALYSE
SIMULATION
VERIFICATION
CONSTRUCTION
INTERPRETATION
VALIDATION
CALCUL
ESTIMATION

RESE
QAOA
C M
LIVRABLES
R T
O T
A T
QNN
CIRCUIT VARIATIONNEL
Q E O N
R C
STATISTIQUES
E E
M T
H O
D O
L O
G
R A
P H
I
T E
N S
E U
R

HYBRIDE
R
S
E
QAOA
C
M
LIVRABLES
R
T
O
H
G
D
O
L
O
G
R
A
P
H
I
STATISTIQUES
QNN
O
T
A
T
CIRCUIT VARIATIONNEL
Q
E
O
N
R
C
U
I
T
E
N
S
E
U
R

M
A
T
U
R
LIVRABLES
T
E
R
C
R
A
P
H
I
STATISTIQUES
HYBRIDE
M
T
H
O
D
O
L
O
G
I
Q
U
A
O
A
R
S
E
Q
U
X
T
E
N
S
E
U
R
CIRCUIT VARIATIONNEL
Q
E
O
N
Q
N
N
O
T
A
T
Q
E
O
N

MATUR
HYBRIDE
R
S
E
QAOA
C
M
LIVRABLES
T
R
T
H
O
D
O
L
O
G
I
STATISTIQUES
QNN
O
T
A
T
CIRCUIT VARIATIONNEL
Q
E
O
N
R
C
U
I
R
G
A
P
H
I
S
T
A
T
I
S
T
I
Q
U
E
S
T
E
N
S
E
U
R

Merci pour votre attention