

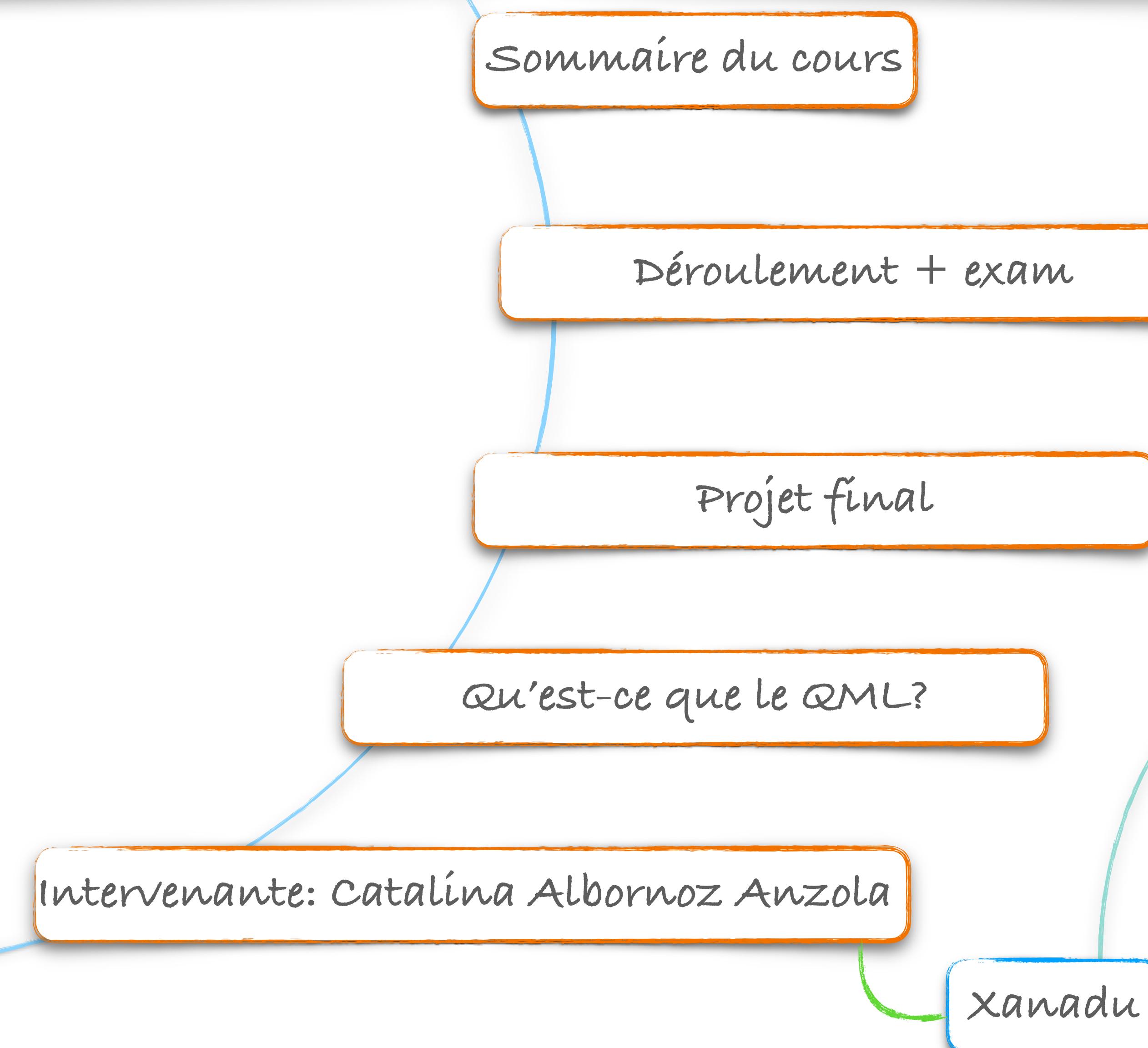
Applied QML

Lecture 1

Christophe Pere

2024-01-04

Table des matières



Sommaire du cours

W1: Introduction

W2: Machine Learning classique

W3: Base du calcul quantique

W4: Encodage de données

W5: Blocs élémentaires

W6: Optimisation

W7: Examen Intra

W8: Réseaux de neurones quantiques

W9: Quantum kernel

W10: Circuits variationnels

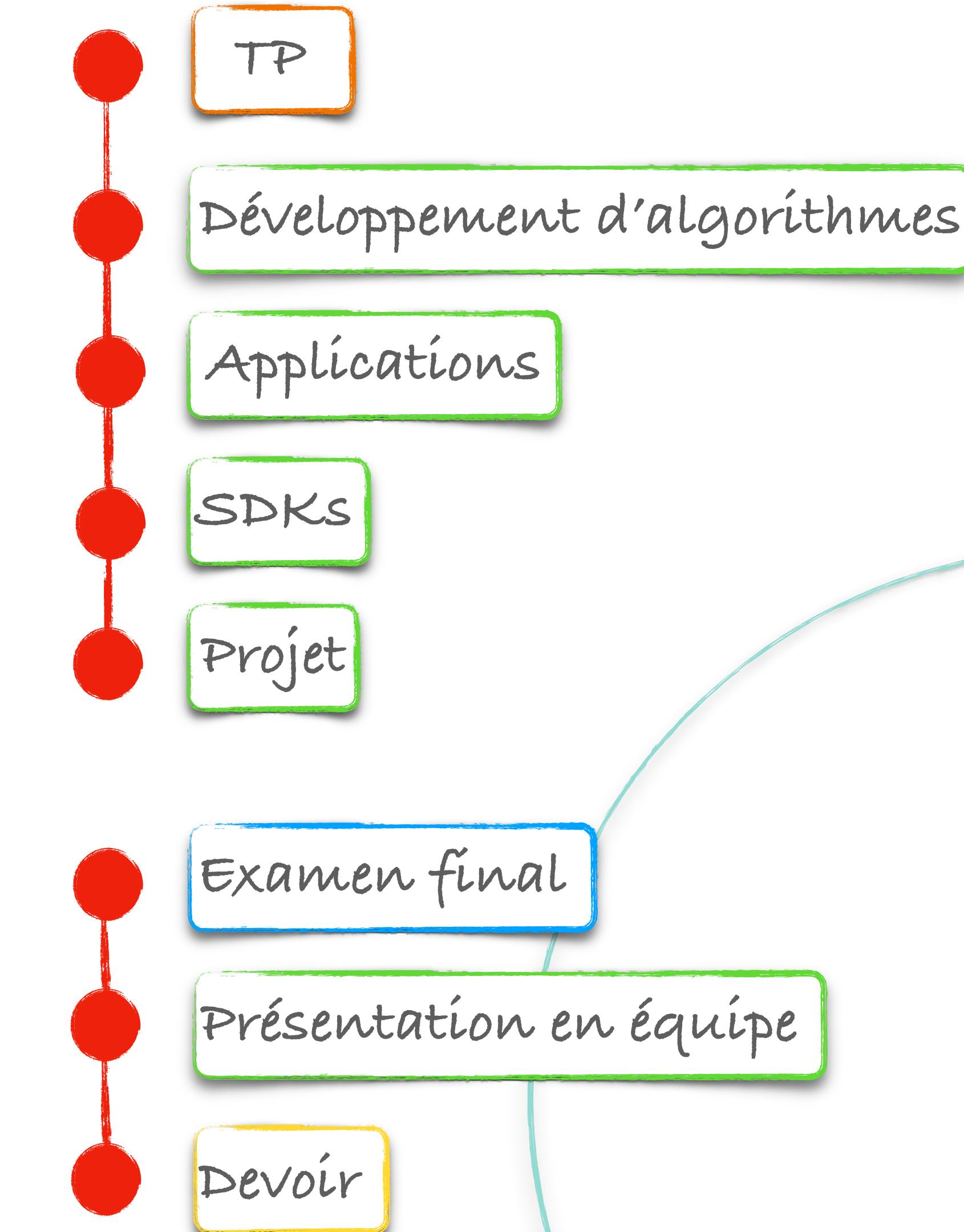
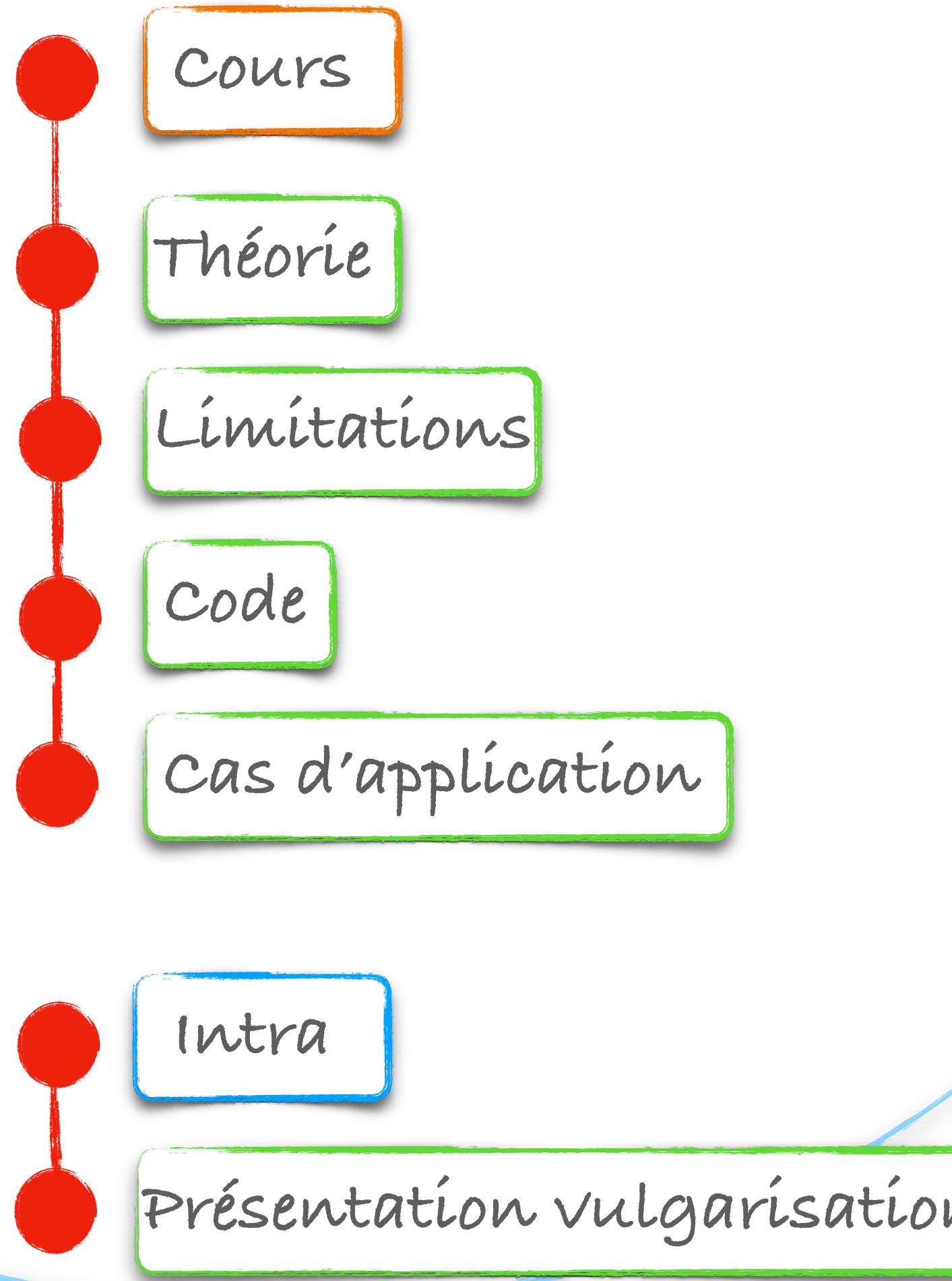
W11: Circuits variationnels (annealing)

W12: Applications du QML

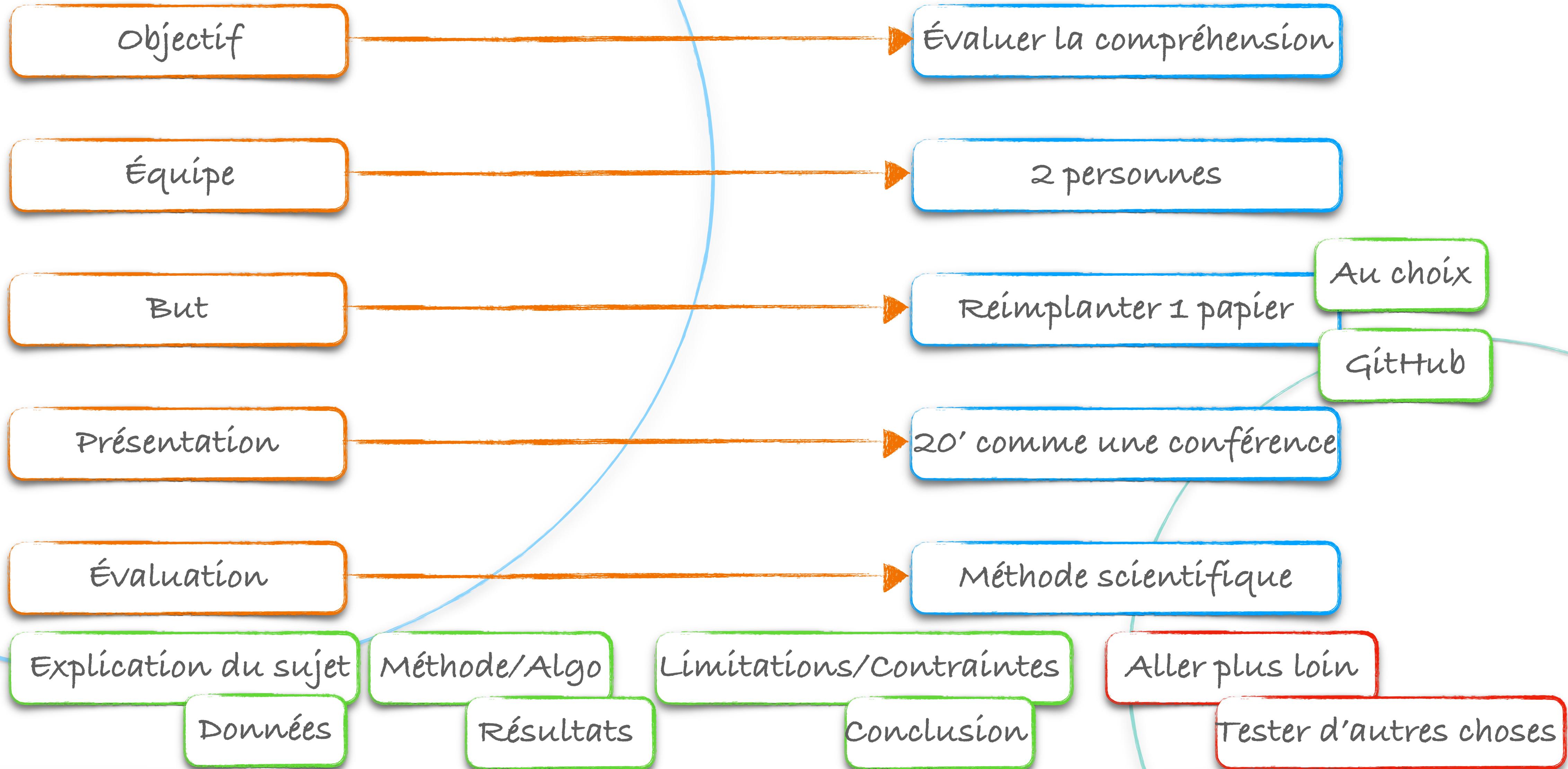
W13: Quand la recherche est un échec

W14: Présentations projets finaux

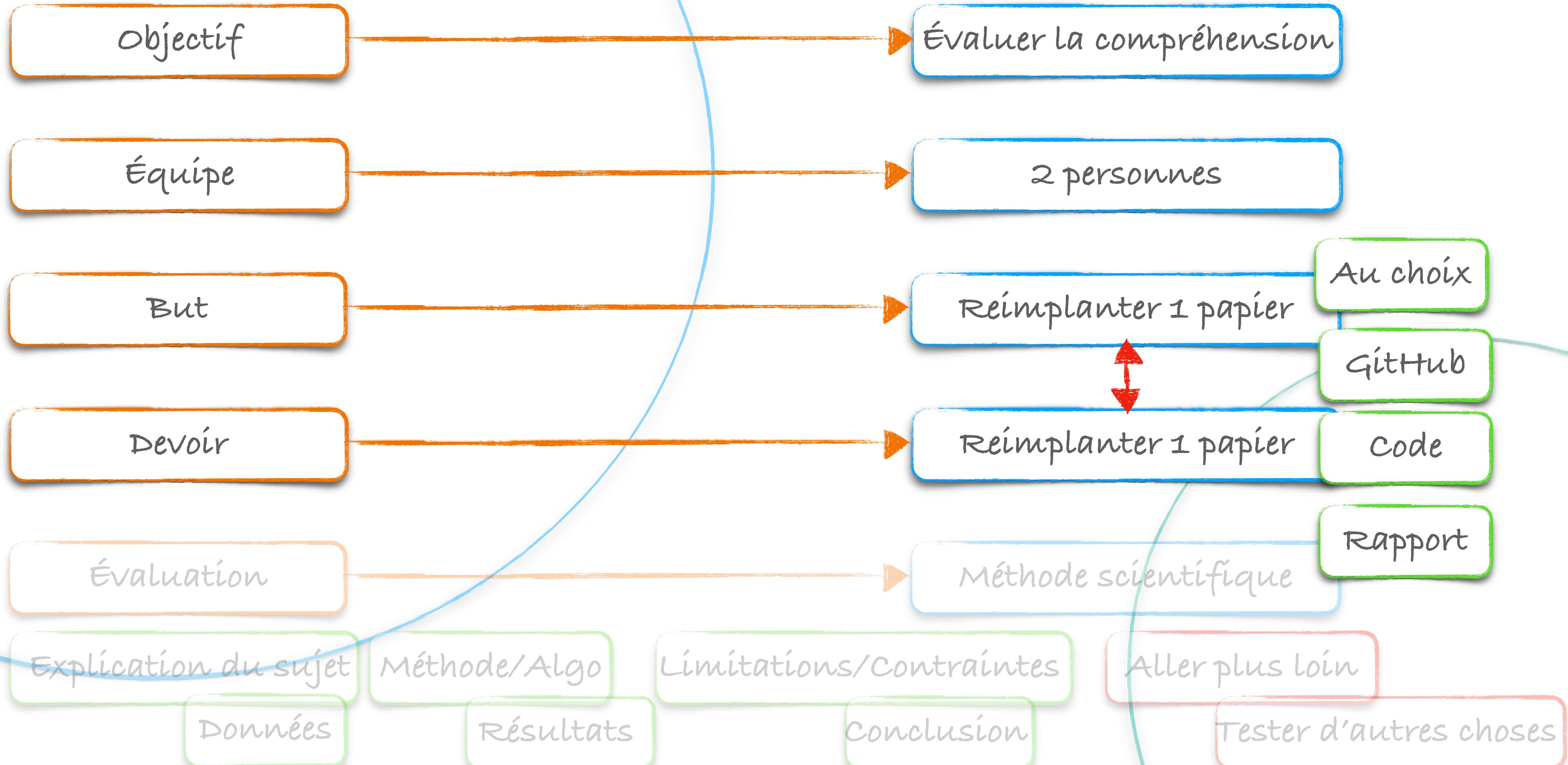
Déroulement et examens



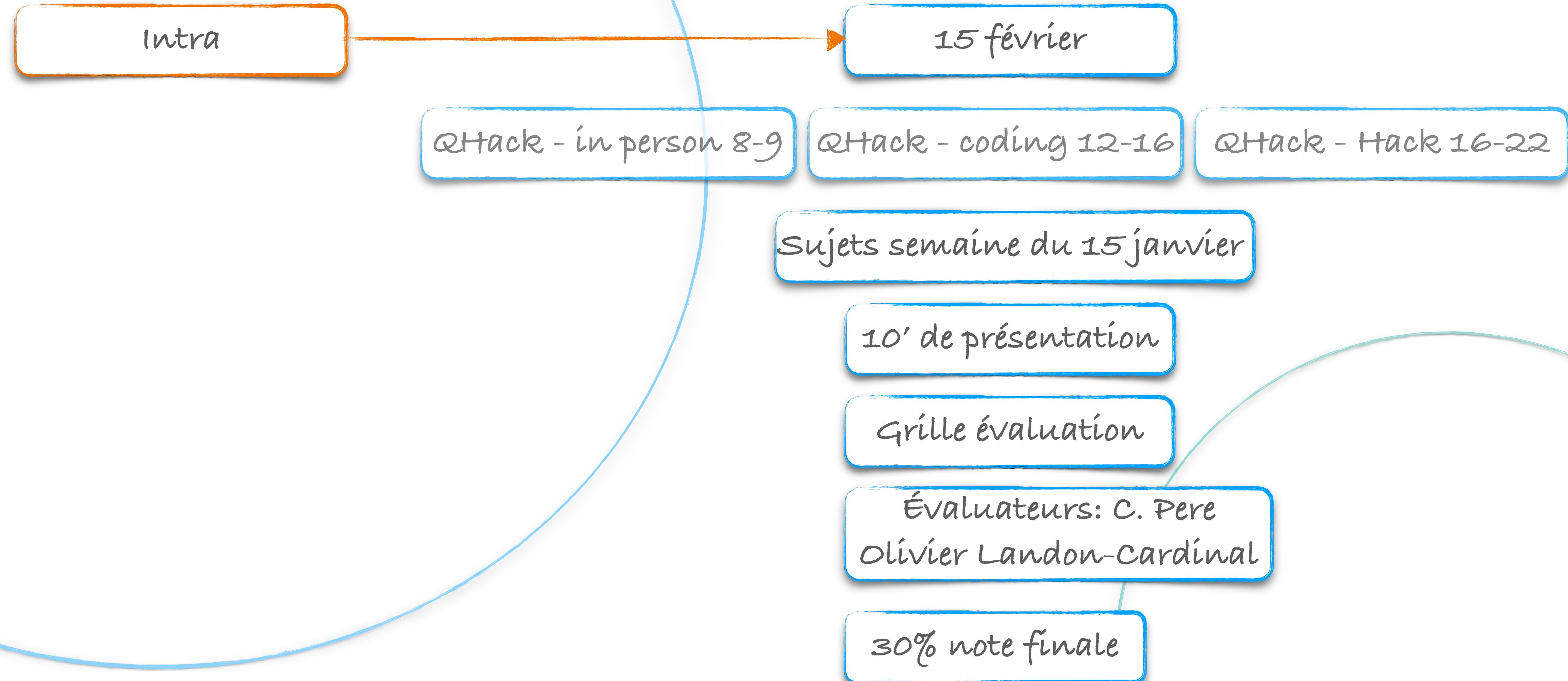
Projet final



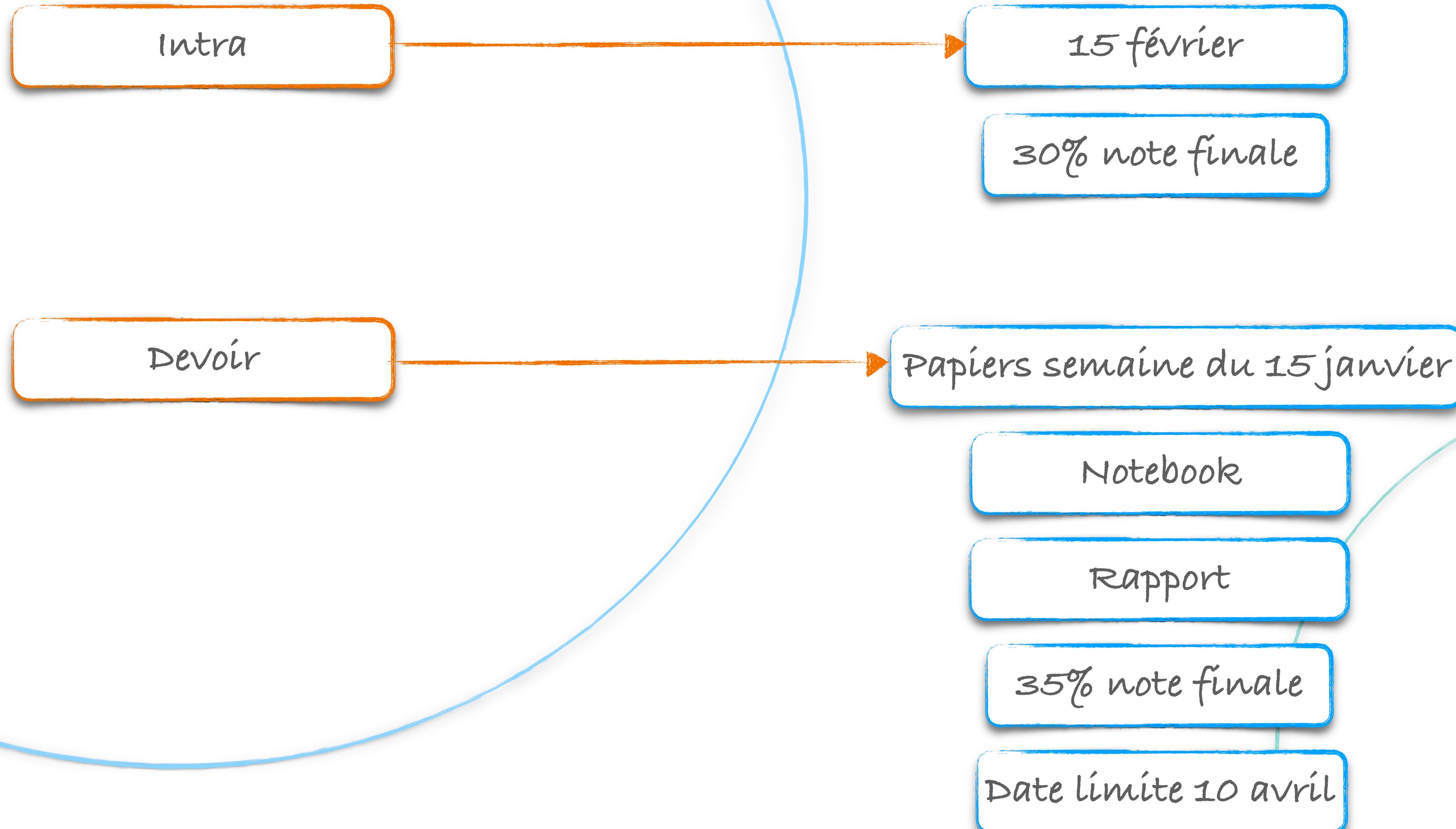
Projet final



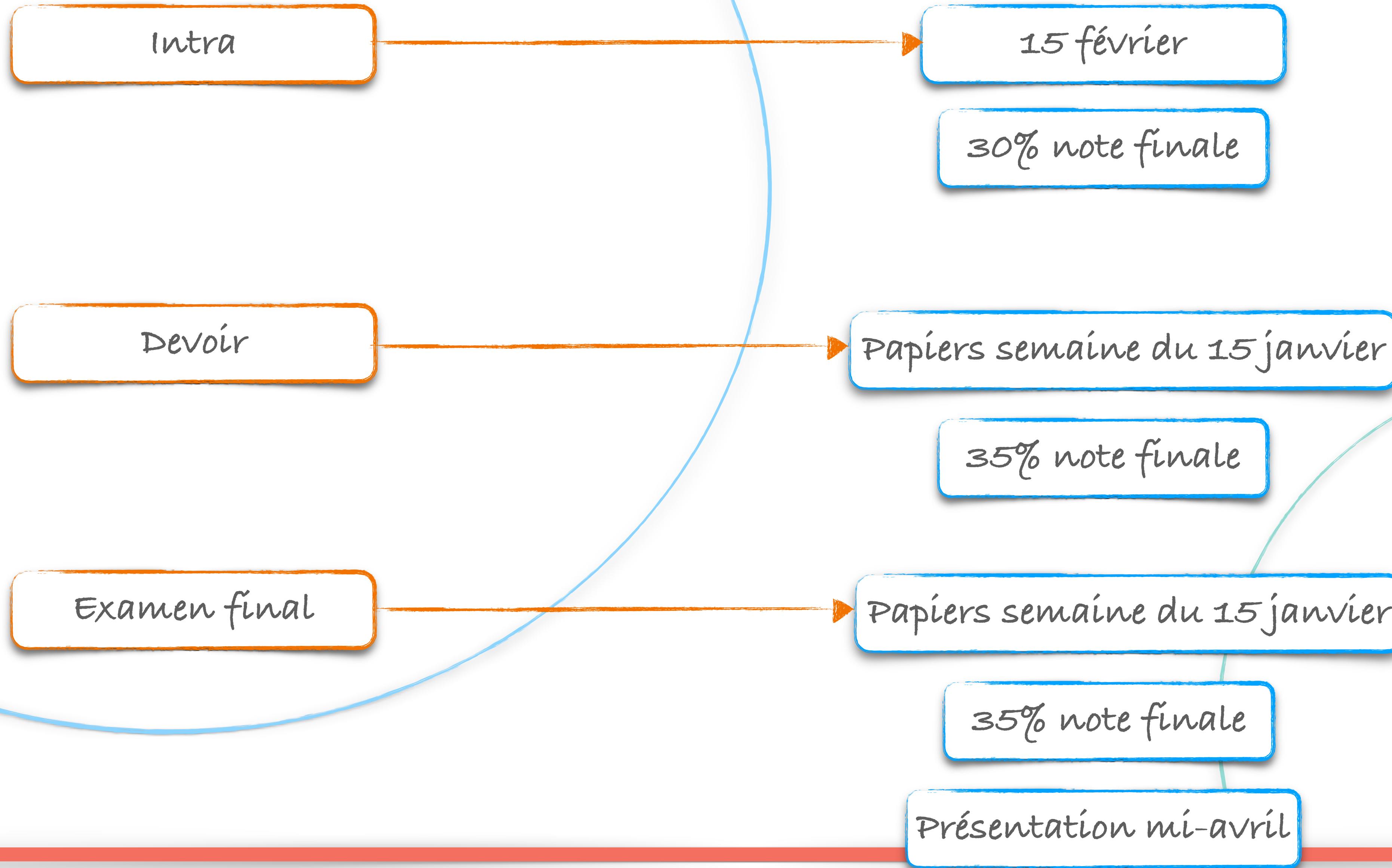
Dates



Dates



Dates



Débouchés?

Académie

Développeur(use) quantique

Chargé(e) de cours

Coordinateur(use) de recherche

Chercheur(use)

Prof

Industrie

Développeur(use) quantique

Associé de recherche - Analyste

Chercheur(use)

Débouchés?

Académie



Développeur(use) quantique

QUALIFICATIONS

- Détenir un diplôme universitaire de premier cycle en physique, informatique, mathématiques ou dans tout autre domaine pertinent ayant intégré une solide formation en information quantique et/ou calcul de haute performance.
- Posséder au moins 3 années d'expérience pertinente.

Prof



EXIGENCES

- Être titulaire d'un doctorat (Ph.D.) dans un domaine pertinent, diplôme en génie est un atout;
- Posséder une expérience de recherche en collaboration avec l'industrie ou une solide expérience industrielle en R&D;
- Démontrer d'excellentes aptitudes pour la formation de personnel hautement qualifié à travers les projets de recherche et l'enseignement;
- Être membre de l'Ordre des ingénieurs du Québec (OIQ) ou y être éligible et prendre les mesures nécessaires afin de le devenir avant le dépôt du dossier de permanence;
- Maîtriser le français parlé et écrit conformément à la Politique linguistique de l'ÉTS ou démontrer une volonté d'apprendre la langue française et s'engager dans un processus de francisation soutenu par l'ÉTS.

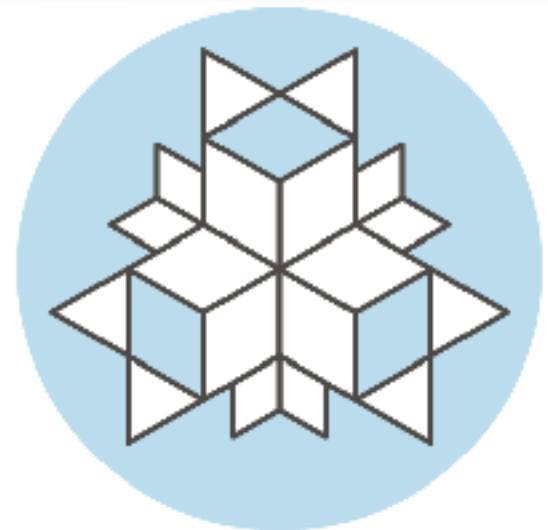


Requirements

- > Ph.D. in Computer Science or in a related field;
- > Expertise in quantum algorithms relevant to quantum machine learning;
- > An excellent publication record in the discipline: the candidate should have published in top-tier venues;
- > Demonstrated ability to deliver high-quality university education;
- > An adequate knowledge of the French written and spoken language **or** a strong commitment to mastering the proficiency level required, in accordance to [Université de Montréal's Language Policy](#); An institutional learning support program is offered to all professors wishing to learn French or improve their communication skills.

uds, Concordia...

Débouchés?



Nord Quantique Software developer

Sought expertise

- BSc or MSc or equivalent industry experience (2+ years) in a relevant field including computer science, computer engineering, software engineering or physics
- Strong coding experience in Python, with experience in scientific coding and data processing
- Experience with coding best practices (version control, unit testing, etc.)
- Working in a multidisciplinary team
- Demonstrated ability to deliver results within deadlines
- Strong communication and organizational skills; excellent ability to manage a coding project

Industrie

Développeur(use) quantique

Débouchés?



calcul Québec

Industrie

Analyste quantique

FORMATION ET EXPÉRIENCE

- Maîtrise en informatique, en physique ou dans un domaine connexe, mais avec une expérience reposant fortement sur l'informatique, ou baccalauréat en informatique avec spécialisation en informatique quantique.
- Intérêt pour le calcul informatique de pointe en recherche scientifique.
- aisance à communiquer avec des publics variés, en français et en anglais, tant à l'oral et à l'écrit, à préparer du matériel de formation et à organiser des ateliers.
- Aptitude au travail en équipe.
- Intérêt pour l'apprentissage de nouvelles technologies.
- Bonne gestion du temps et facilité de passer d'un projet à l'autre.
- Possibilité de se déplacer à l'occasion vers différentes universités du Québec.
- Esprit d'initiative.



scientifique en informatique quantique

chercheur(use)

QUALIFICATIONS REQUISES

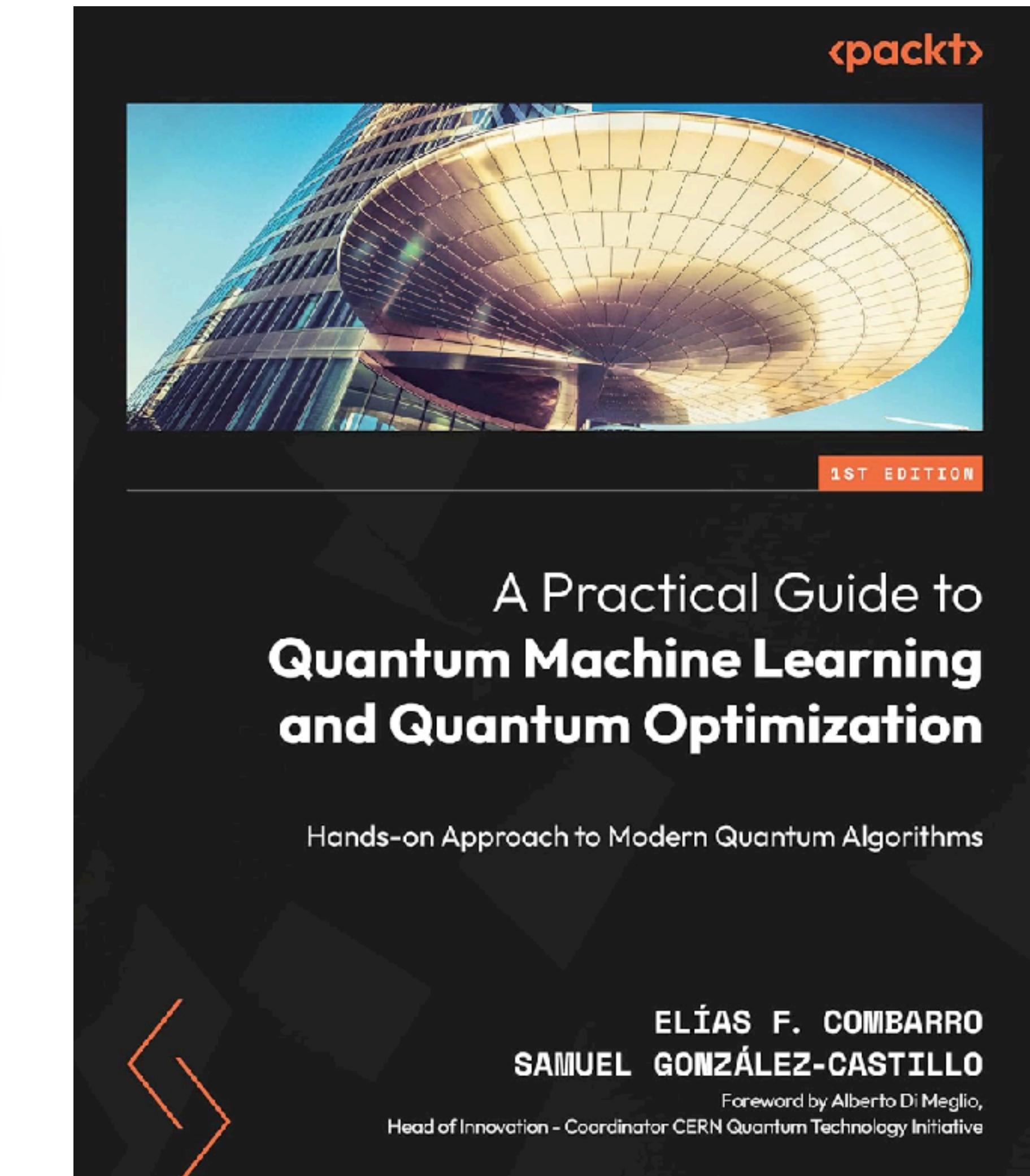
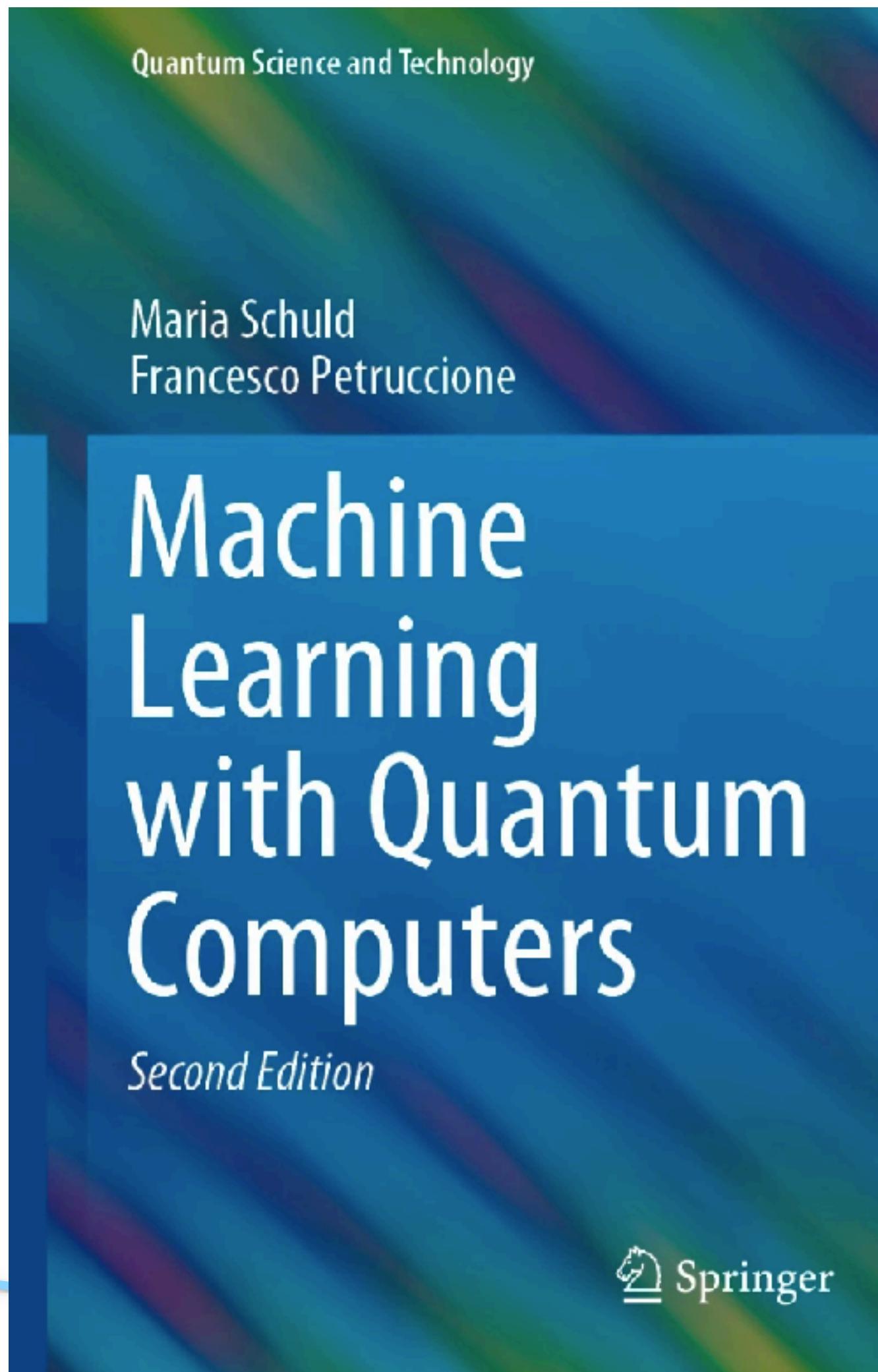
- Au moins un diplôme de maîtrise en physique, informatique, ingénierie, mathématique ou dans tout autre domaine pertinent avec une solide formation en physique quantique, informatique quantique, apprentissage machine ou calcul de haute performance.
- Au moins deux ans d'expérience avec une expérience confirmée dans le développement d'algorithmes quantiques.
- Le développement d'algorithmes quantiques dans un contexte industriel est un atout.
- Le certificat Qiskit et la participation au programme Qiskit advocate sont un atout.

Débouchés?

Emplois en quantique au Québec

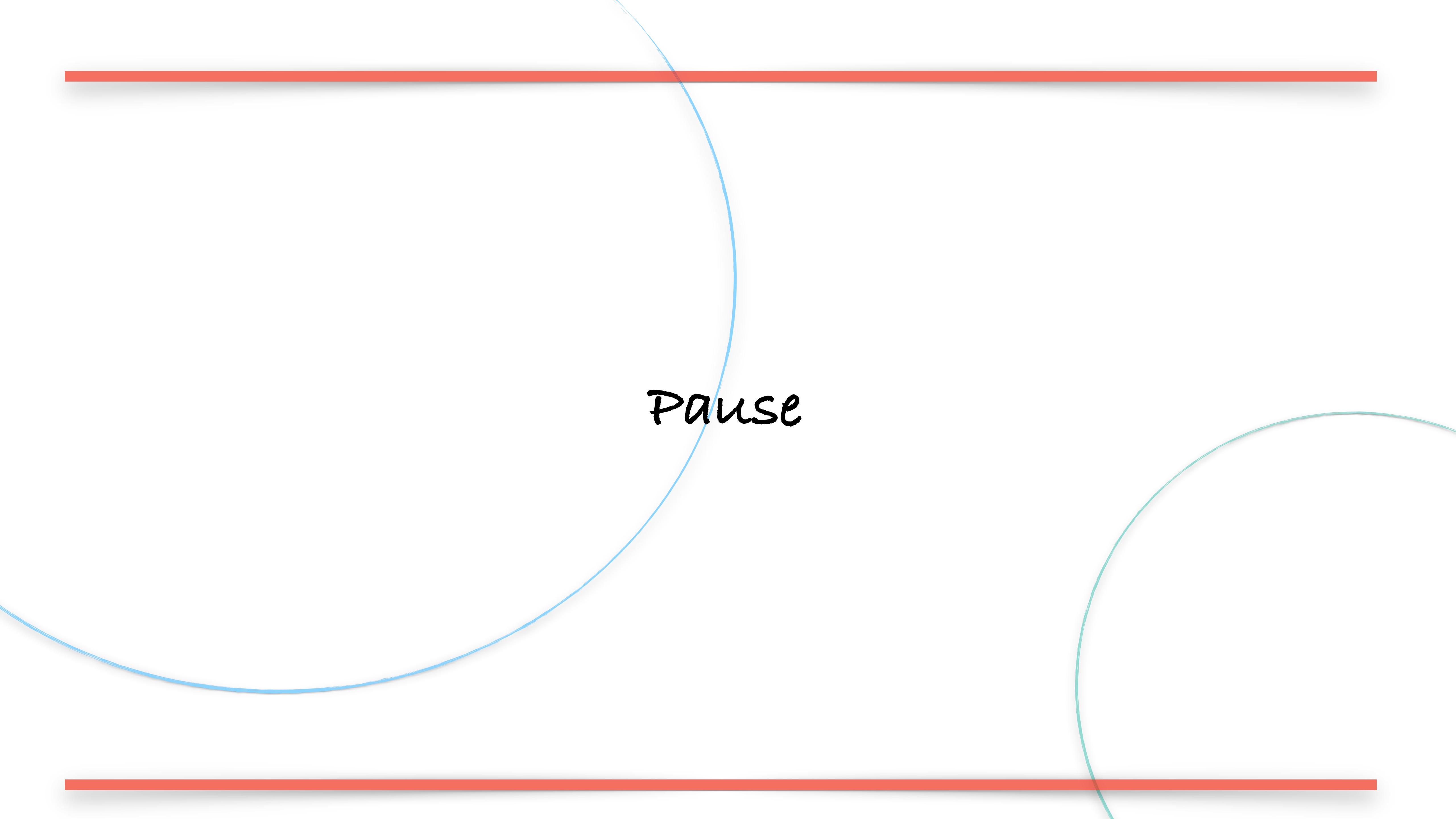
Organisation	Poste	Localisation	Date d'affichage	Statut	Catégorie
Concordia	Professeur·e adjoint·e en physique théorique des technologies quantiques	Montréal	14 décembre 2023	Actif	Universitaire
Polytechnique Montréal	Associé.e de recherche - analyste en informatique quantique - département de génie physique	Montréal	12 décembre 2023	Actif	Universitaire
Université de Montréal	Postdocs Chaire d'excellence en recherche du Canada (CERC) sur les interactions lumière-matière dans les matériaux photoniques	Montréal	11 décembre 2023	Actif	Universitaire
CCN	Comité technique mixte MC/ISO/IEC sur les technologies quantiques	Ottawa	20 novembre 2023	Actif	Professionnel
Institut Courtois	Poste de professeure ou professeur au rang d'adjoint ou d'agréé en apprentissage automatique quantique	Montréal	15 novembre 2023	Actif	Universitaire
CMC Microsystems	Scientifique en informatique quantique	Montréal	15 novembre 2023	Actif	Professionnel
Numana	Président.e, Directeur.rice générale	Longueuil	13 novembre 2023	Actif	Professionnel
QVStudio	Gestionnaire de programme	Sherbrooke	9 novembre 2023	Actif	Professionnel
Université de Sherbrooke	Professeure ou professeur sous octroi de recherche en informatique quantique	Sherbrooke	1 novembre 2023	Actif	Universitaire
Institut Quantique	Professeur en information quantique expérimentale ou théorique	Sherbrooke	16 octobre 2023	Actif	Universitaire
Institut Quantique	Chercheur en informatique quantique	Sherbrooke	11 octobre 2023	Actif	Universitaire
Institut Quantique	Post-doctorat en informatique quantique	Sherbrooke	11 octobre 2023	Actif	Universitaire

RESSOURCES



Attentes

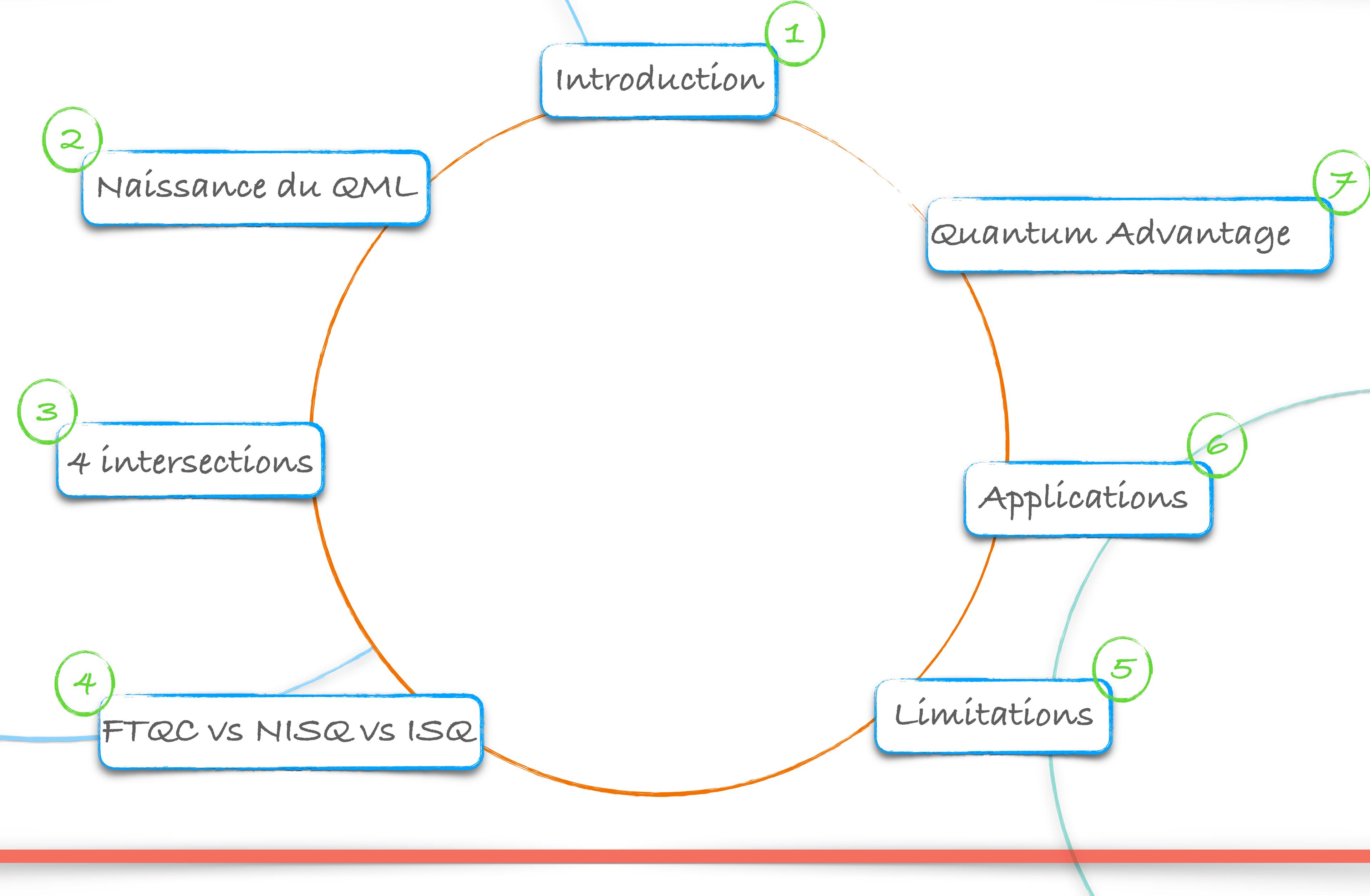




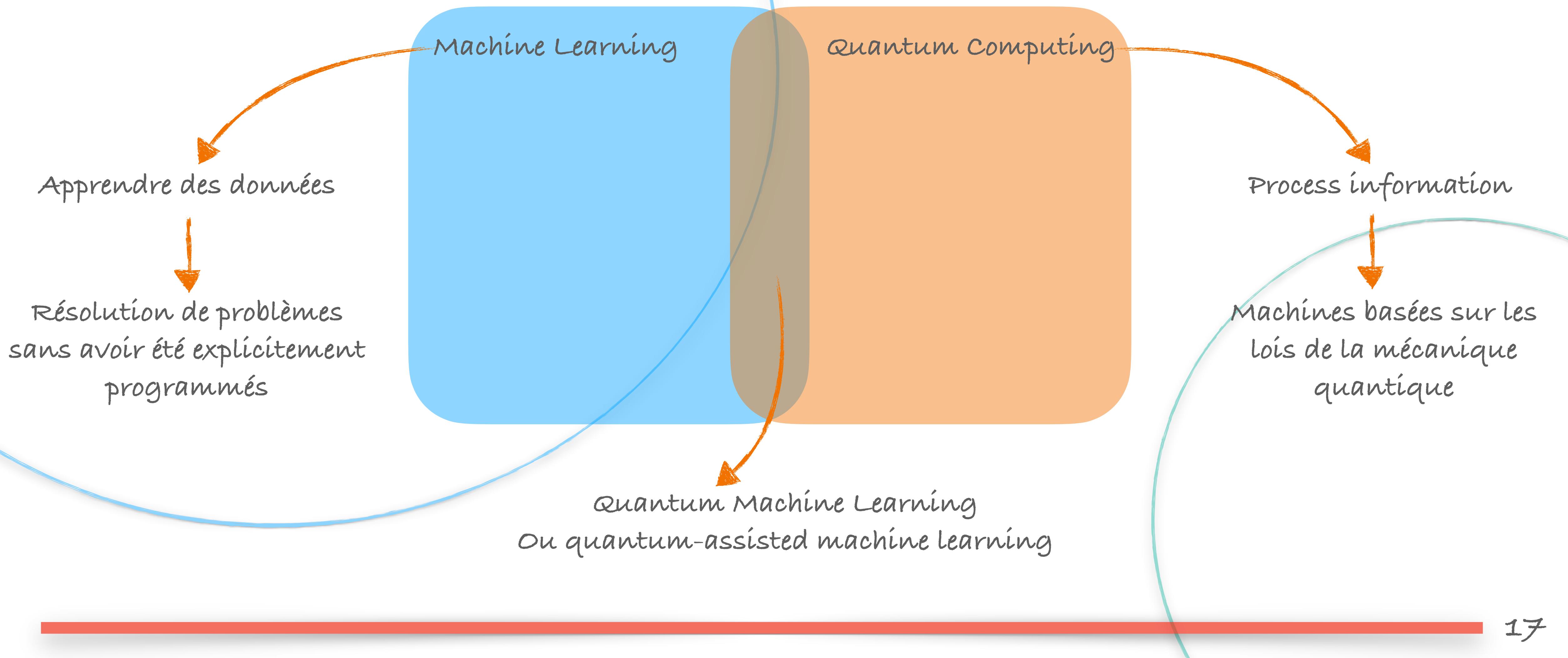
PAUSE

Qu'est-ce que le QML?

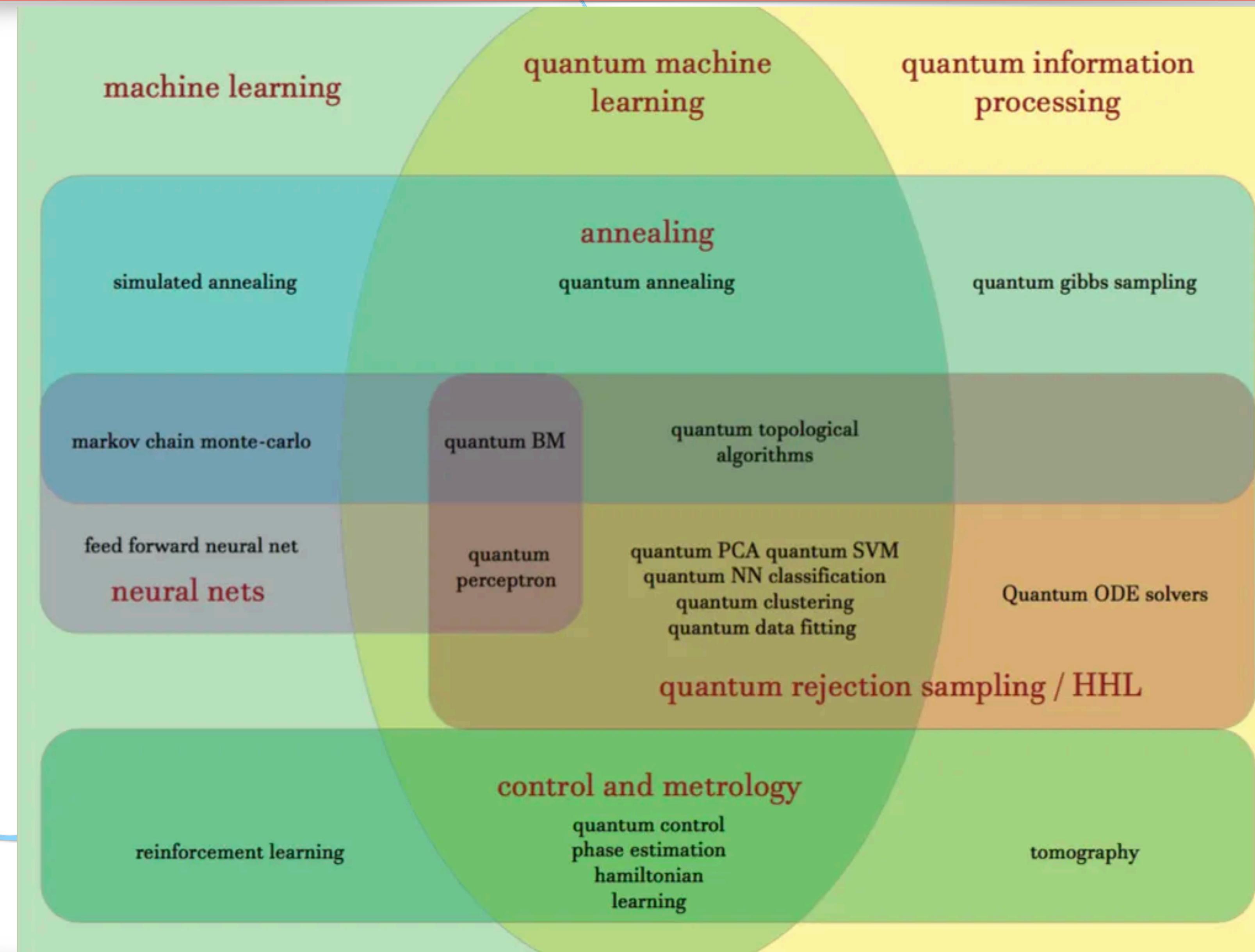
Introduction au QML



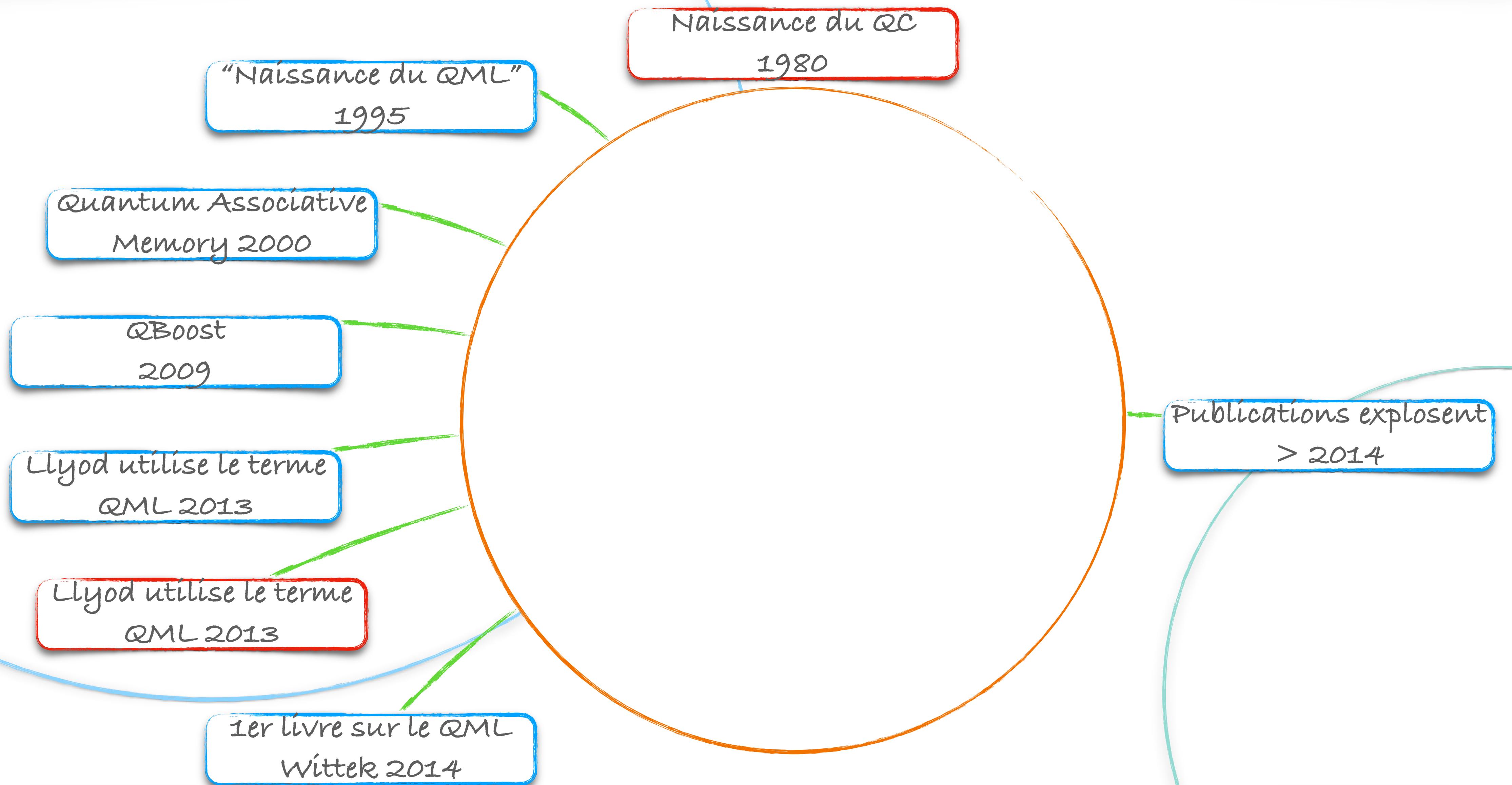
Introduction au QML



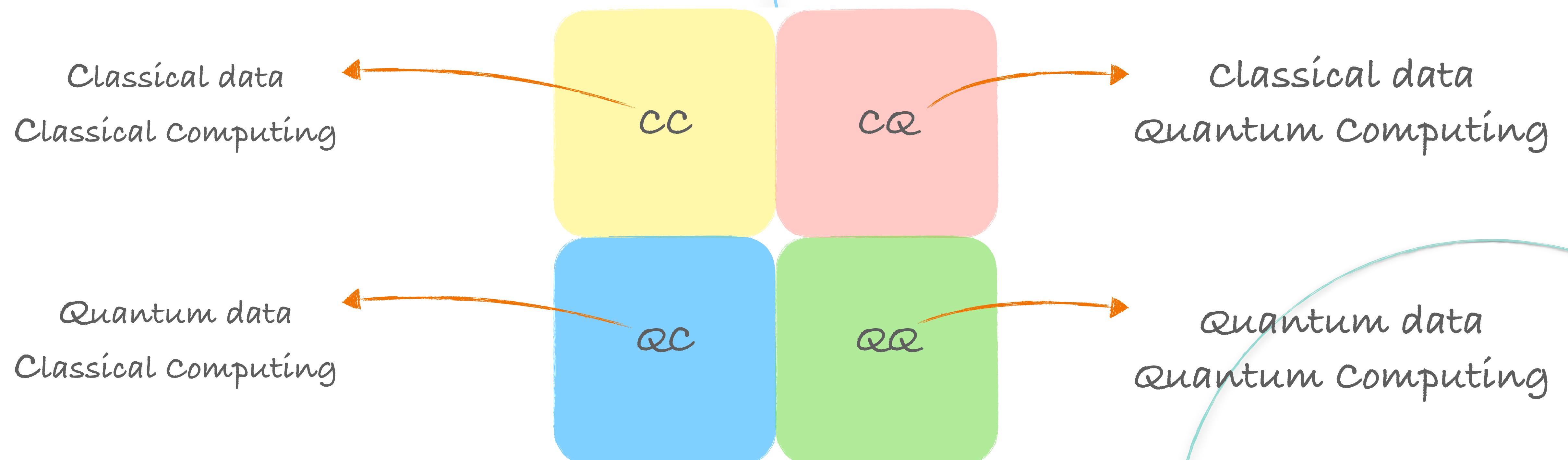
Introduction au QML



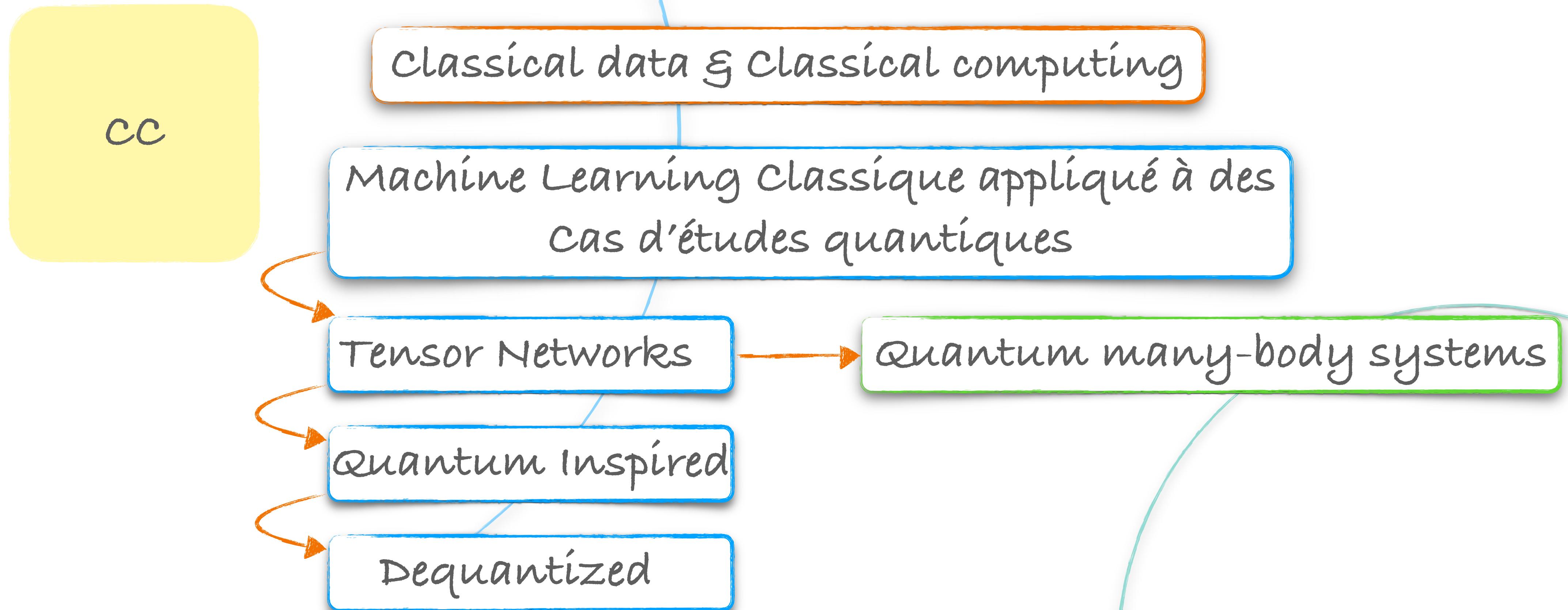
Naissance du QML



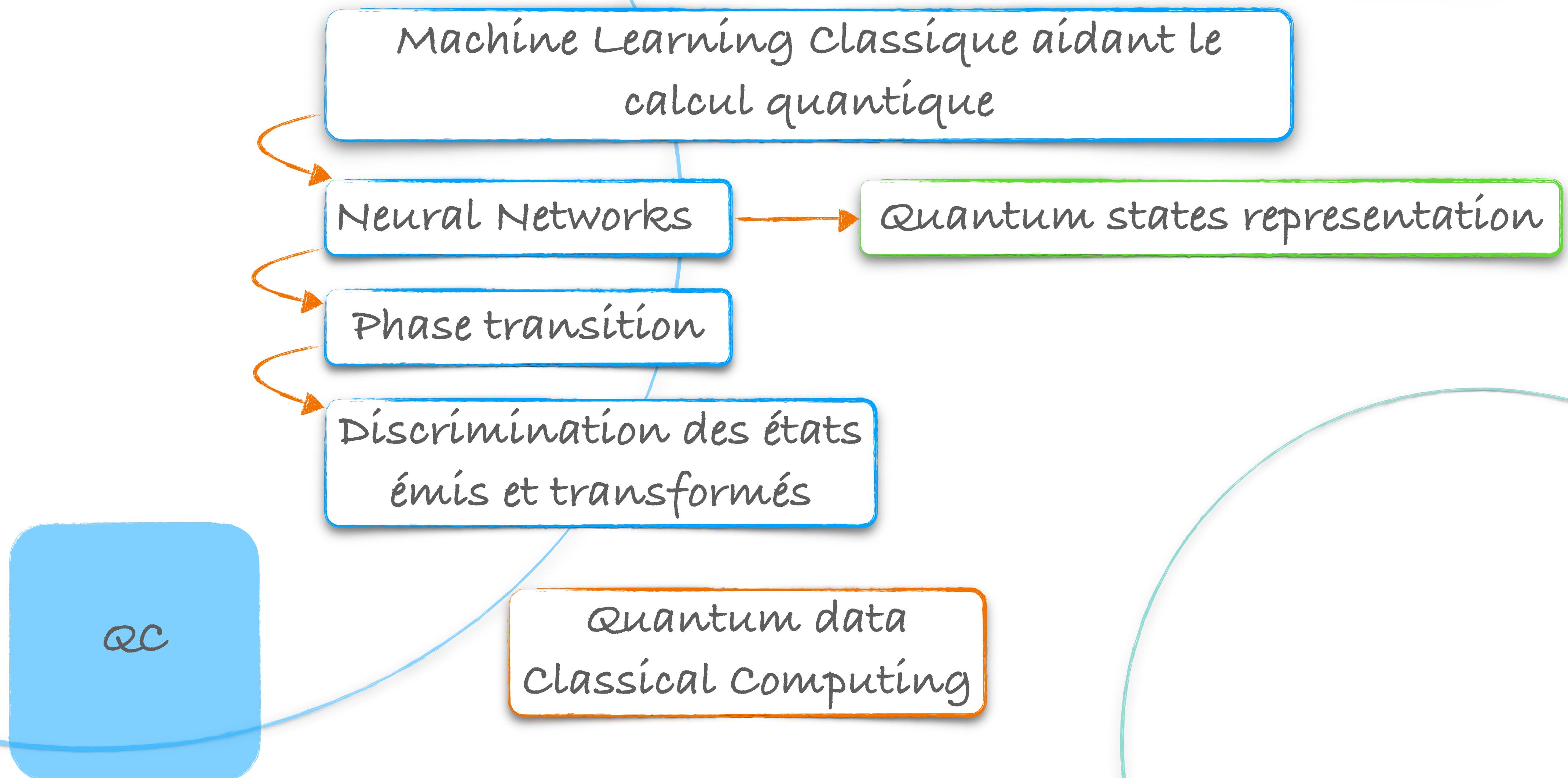
Introduction au QML



Introduction au QML



Introduction au QML



Introduction au QML

classical data
Quantum Computing

Interface

classique-quantique

Données tabulaires
Images, time series...

CQ

Encodé dans les qubits

Introduction au QML

classical data
Quantum Computing

CQ

Focus du cours

Interface
classique-quantique

Données tabulaires
Images, time series...

Encodé dans les qubits

Introduction au QML

Quantum Data?

Sensor quantique

Système quantique

États quantiques

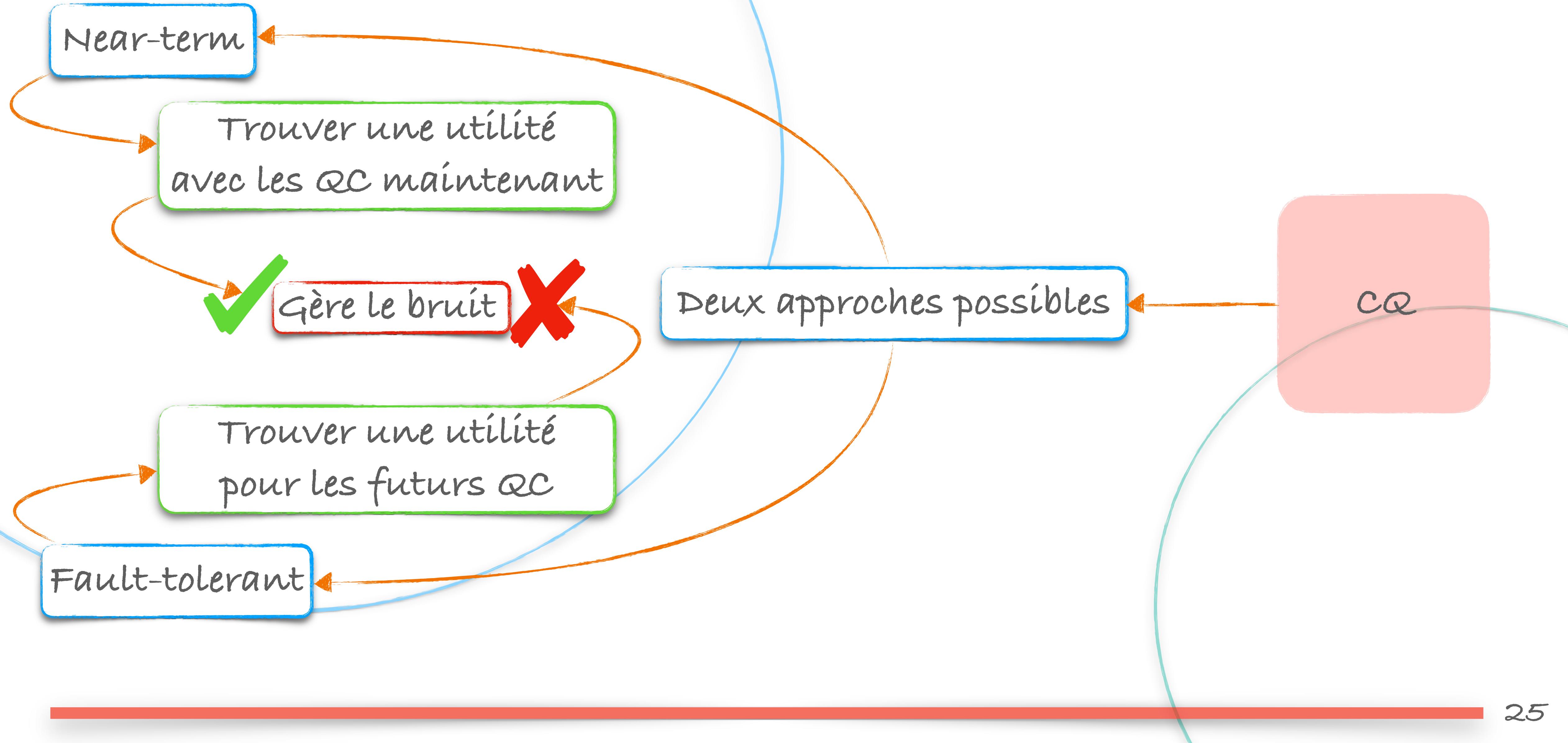
Simulation quantique
D'un système quantique

Transformation de
datasets en des états
quantiques

Quantum data
Quantum Computing

QQ

NISQ VS ISQ VS FTQC



NISQ VS ISQ VS FTQC

NISQ

Bruité

Noisy Intermediate Scale Quantum

Correction d'erreurs

Hardware

Qubits physiques

Décohérence

Mitigation d'erreurs

Suppression d'erreurs

NISQ VS ISQ VS FTQC

NISQ

Bruité

Taille intermédiaire

Noisy Intermediate Scale Quantum

Faible nombre de qubits

Faible profondeur de circuit

Peu de portes en "gate based QC"

"Beaucoup" de qubits - peu utile

De 50 à ...

Max 1000 qubits

Faible performance des qubits

NISQ VS ISQ VS FTQC

ISQ

Noisy Intermediate Scale Quantum

~~Bruité~~

Correction d'erreurs

Qubits physiques

Qubits logiques

Non parfaits

Plus grande

Faible profondeur de circuit

Peu de portes en "gate based QC"

"Beaucoup" de qubits - peu utile

Moins d'erreur

Taux par porte plus faible afin d'augmenter la profondeur

NISQ vs ISQ vs FTQC

ISQ

Noisy Intermediate Scale Quantum

~~Bruité~~

Correction d'erreurs

Qubits physiques

Qubits logiques

Non parfaites

Parlera t-on encore de circuit?

Plus grande

Faible profondeur de circuit

Peu de portes en "gate based QC"

"Beaucoup" de qubits - peu utile

Moins d'erreur

Taux par porte plus faible afin d'augmenter la profondeur

NISQ VS ISQ VS FTQC

FTQC

Dream?

Threshold theorem

Fault-Tolerant Quantum Computer

Excellente qualité des qubits

Correction d'erreur

"The entire content of the Threshold Theorem is that you're correcting errors faster than they're created. That's the whole point, and the whole non-trivial thing that the theorem shows. That's the problem it solves." Scott Aaronson

Circuit?

Large nombre de qubits

Profondeur de circuit non limitée

Limitations

Qu'est-ce que le quantique apporte?

utile?

Input
problem

Est-ce la bonne utilisation
pour le QML d'utiliser des
données classiques?

Nombre de qubits

Combien de qubits faudrait-il?

QRAM

Comment stocker des données ou résultats intermédiaires?

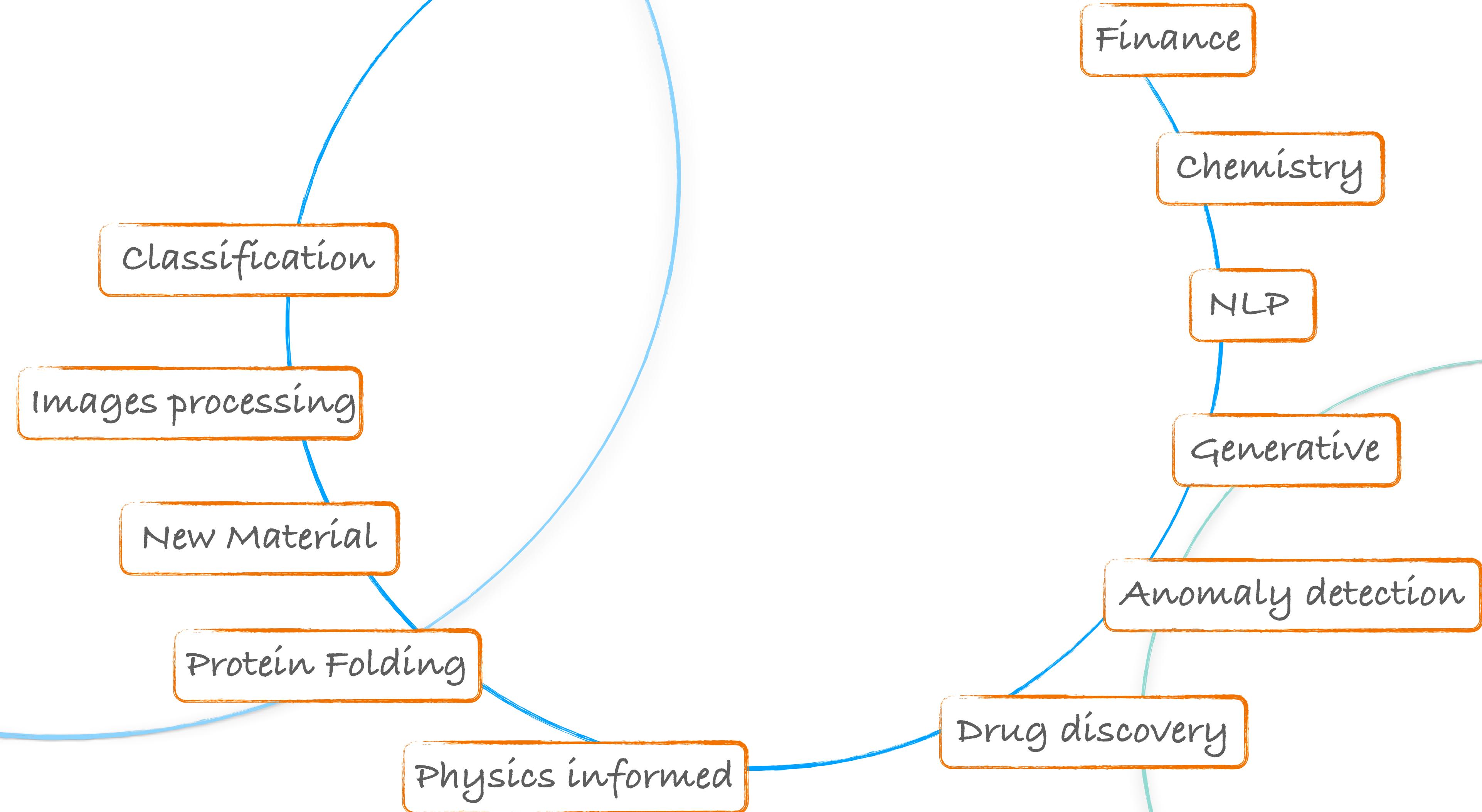
Comment comparer un algo quantique
avec son homologue classique?



Error mitigation

Comment réduire le bruit afin
de faire des circuits longs?

Applications



Quantum Advantage?

Définir

Types

Tâche précise

Métrique

Bruité ou idéal

But spécifique ou général

Générative

Classification/Régression

Donnée Sparse/Dense

Complexité Algorithmique

Benchmark pratique

Ensuite, qu'est-ce qui compte comme un avantage?

Quantum Advantage?

Critères

Performance

Speedup

Pertinence

Disponibilité

Si les 3 premiers sont présents avec
un ordi dispo dans des dizaines d'années,
le ML classique va avoir du temps
pour s'améliorer

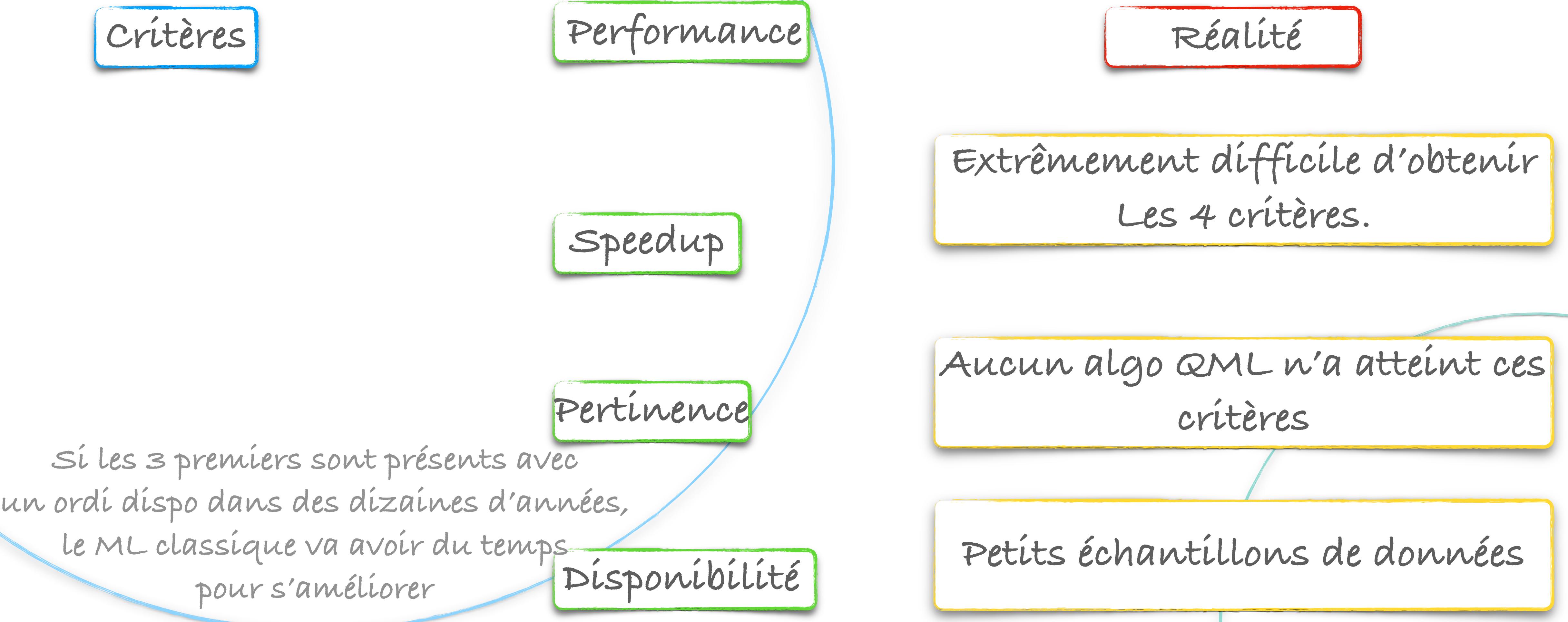
Bonne généralisation sur
des nouvelles données

Plus rapide que du ML classique

Le problème est d'intérêt pour le ML

Maturité de la technologie,
futur proche?

Quantum Advantage?



Quantum Advantage?

Critères

Autres?

Énergie?

A-t-on besoin du quantique?

Amélioration du classique?

une poussée dans le quantique entraîne une poussée dans le classique

Problème infaisable classiquement?

Quantum Advantage?

Généralisation

À l'échelle d'une famille d'algorithmes

Assez expressif sans surapprendre

Bias-variance trade-off

Performances identiques sur de nouvelles données

Problème

Comment définir l'"expressivité" d'un modèle?

Définition

L'expressivité est la capacité d'une fonction/modèle paramétrisée à apprendre des fonctions complexes

Plus il y a de paramètres, plus c'est expressif

Doit prendre en compte l'entraînement, l'exploration du modèle dans l'espace des paramètres/modèles possibles contraint sa généralisation

Quantum Advantage?

Expressivité

L'expressivité est la capacité d'une fonction/modèle paramétrisée à apprendre des fonctions complexes

variational

Ansatz

Embedding

Training

Kernel

Embedding

Quantum Advantage?

Speedup

Deux interprétations

ML classique

ML quantique



?

Remplacer une partie de l'algorithme pour utiliser des routines quantiques
Comparaison du quantique avec l'équivalent classique

changer l'apprentissage?

plus complexe

Apprentissage reproduit des patterns plus vite que le classique

On compare l'algorithme quantique avec tous les algo. classiques pour comparer
speedup + performance

Quantum Advantage?

Future

Analyse de l'apprentissage

Développer des outils plus précis

Réduire les problèmes

Réduire le "scope" du QML

Trouver les blocs élémentaires

Comme les neurones

Réduire les attentes

The end?



Intervention



catalina
Albornoz
Anzola

