

## Description de stage Informatique

Cycle Ingénieur, 5ème année

Année 2021-2022



*Ce document a pour but de recenser des informations à jour sur le contenu de votre stage de 5ème année. Il ne sera partagé qu'entre votre tuteur école et le responsable des stages de spécialité. Les informations saisies doivent être cohérentes avec celles de la convention de stage signée : tout changement important (date, maître de stage, etc.) doit faire l'objet d'un avenant à la convention.*

*Les informations sont regroupées par séquence : chaque séquence doit être envoyée aux personnes indiquées à la date indiquée (en nombre de semaines écoulées depuis le début de votre stage). Les réponses ou questions éventuelles de votre tuteur ne sont pas prévues dans ce document, mais vous pouvez y faire référence lors de votre envoi pour la séquence suivante. La taille des champs textuels peut être modifiée librement.*

*Pour vos communications :*

- *utilisez votre adresse universitaire uniquement :*  
*moi@universite-paris-saclay.fr*
- *pour l'adresse de votre tuteur académique, utilisez celle indiquée dans la convention sous Horizon Entreprise*
- *pour l'adresse du responsable des stages, utilisez :*

*aurelien.max@universite-paris-saclay.fr*

- *comme titre de message, utilisez :*

*[Polytech > stages] tutorat de stage Et5 MonPrénom MonNom*

- *pour la suite de vos échanges, merci de toujours répondre au même fil de messages (donc, **en conservant le titre du message originel et l'historique**)*
- *transmettez la version du document demandée, **en conservant l'historique complet (ne pas faire un extrait de document pour chaque séquence)**, dans un format PDF **propre et lisible**.*

## Séquence 1

quand : début du stage + 6 semaines

à qui : tuteur et responsable des stages

### Nom

Sylvestre

### Prénom

Nicolas

### Email de contact

[sylvestre.nicolas0@gmail.com](mailto:sylvestre.nicolas0@gmail.com) / [nicolas.sylvestre@universite-paris-saclay.fr](mailto:nicolas.sylvestre@universite-paris-saclay.fr)

### Entreprise ou laboratoire d'accueil

IBM France

### Lieu du stage (ville, pays)

Castelnau-le-lez (34170), France

### Date de début du stage (jj/mm/aaaa)

28/02/2022

### Date de fin du stage (jj/mm/aaaa)

26/08/2022

### Nom complet et fonction du maître de stage

Léna Pérennès, IBM Quantum Support

### E-mail du maître de stage

Lena.Perennes@ibm.com

### Téléphone du maître de stage (*optionnel*)

0633112167

### Adresse complète du stage

1 CHE de BORIE

34170 Castelnau-le-lez

### Demande de confidentialité de l'entreprise

Non

### Titre du stage

Etude du Quantum Machine Learning

## Principales technologies et méthodes mises en œuvre

Technologies :

- Python
- Librairie Qiskit
- Markdown

## Description du sujet du stage

Après une phase d'apprentissage des bases théoriques du calcul quantique, de Qiskit et la découverte des algorithmes de base - Deutsch-Jozsa, Bernstein-Vazirani, Grover, Shor, VQE - le stagiaire

participera aux activités de l'équipe support. En particulier, il pourra répondre aux questions techniques des clients mondiaux du IBM Quantum Network, développer du contenu et de la documentation spécifique à leur attention et contribuer à Qiskit.

L'objectif principal du stage sera d'explorer les différentes techniques de Machine Learning Quantique (Quantum Machine Learning ou QML) disponibles sur Qiskit (QSVM, VQC, qGAN, QNN) et les utiliser sur les machines dernière génération de type NISQ (Noisy Intermediate Scale Quantum), notamment à l'aide de la nouvelle architecture offerte par IBM Quantum, le Qiskit Runtime.

Il sera attendu de créer un ou plusieurs cours/hands-on labs (jupyter notebook) sur l'implémentation de ces techniques de QML. Ces cours, basés sur Qiskit, pourront être délivrés et présentés aux clients lors de rencontres et de sessions de formation.

## Éléments de contexte du stage (nature de l'équipe, projet de rattachement, etc.)

L'équipe Quantum Support a pour but de répondre aux questions des entreprises, des universités ou de particuliers qui utilisent les ordinateurs quantiques d'IBM (au travers de la plateforme cloud <https://quantum-computing.ibm.com/> , ou des machines achetées à IBM). Ces questions peuvent aller d'une simple aide sur l'interprétation de la documentation, des textbooks (cours en ligne sur l'utilisation de Qiskit) à des questions concernant les dernières technologies en date, telle que Qiskit Runtime ou Pulse.

Je suis rattaché à cette équipe dont le but est aussi de pouvoir présenter aux clients les intérêts des ordinateurs quantiques et parfois de trouver des cas d'applications.

## Premières impressions suite au démarrage du stage

Le stage a commencé avec une période de formation aux technologies Quantum. Fort de mon master en informatique quantique, cette période a été dédiée à découvrir Qiskit plus en profondeur (certains TP ont été fait pendant le master, mais sans rentrer en profondeur), à découvrir les interactions qu'il était possible d'avoir avec les ordinateurs réels, ainsi que les difficultés de ces interactions. En effet, les ordinateurs quantiques étant aujourd'hui dans

la phase appelée NISQ (Noisy Intermediate Scale Quantum computer), résultats venant des backends réels peuvent être bruités pour différentes raisons (temps de cohérence, température, interactions de proche en proche,...).

De plus, la bibliothèque Qiskit intègre des modules pour pouvoir répondre aux problématiques de certains domaines en particuliers : le module qiskit-finance répond aux problématiques d'anticipation des marchés financiers et de calcul de risques, le module qiskit-nature répond majoritairement aux besoins de simulations de molécules, ... . Parmi ces modules, je suis dirigé vers le module qiskit-machine-learning qui propose des implémentations de différents algorithmes pour encoder les données, les traiter et mesurer les métriques qui nous intéressent (le produit scalaire par exemple).

Je suis très bien accompagné. Chaque membre de l'équipe a des forces qui me sont profitables et chacune de mes questions ont une réponse. De plus, des documents avaient été écrits à mon intention préalablement à mon arrivée pour que j'ai une ligne directrice générale dans mes recherches.

De plus, le travail ici n'est pas stressant : chacun peut arriver à l'heure qu'il désire et repartir à l'heure qui lui convient, tant qu'il estime avoir effectué son travail de la journée. Aussi, avoir les procédures d'une grande entreprise est assez rassurant : grâce au slack centralisé avec la France (et sur certains *workspace* avec les USA), chaque question à sa réponse et on sait à quelle personne s'adresser.

Finalement, les opportunités d'apprendre sont très nombreuses, notamment grâce au site yourlearning, qui permet d'avoir accès à des formations (parfois certifiante), écrite par des IBMers ou des sites externes.

## **Année 2022 : lutte contre le Covid-19**

Le printemps 2022 est encore marqué par la lutte contre le Covid-19, qui impose notamment à de nombreux travailleurs des conditions de télétravail. Décrivez succinctement les adaptations demandées par votre entreprise ainsi que les effets sur votre travail.

Jusqu'à l'allègement du protocole COVID début mars, toutes les filiales d'IBM dans tous les pays étaient soumises aux règles en vigueur aux Etats-Unis, tous les bureaux étaient donc fermés. 2 semaines avant mon arrivée, la gestion des protocoles COVID chez IBM a été changé pour devenir au cas par cas, en fonction des pays. De ce fait, les bureaux ont pu rouvrir, avec une obligation de distanciation physique et le port du masque (jusqu'au 14 mars). Maintenant, chacun est libre de porter le masque ou non.

## **Séquence 2**

quand : début du stage + 10 semaines

à qui : tuteur

## **État d'avancement du travail**

J'ai pu commencer les recherches sur le thème du quantum machine learning (QML). J'ai

fini d'étudier la première phase du pipeline de QML : *l'information encoding*. Cette étape décrit la manière de transformer des données de l'informatique classique en un format que peut comprendre et utiliser un ordinateur quantique. Après une étude sur la manière de calculer un produit scalaire grâce à un ordinateur quantique (le calcul de produit scalaire étant très utilisé dans le domaine du machine learning), j'ai pu me consacrer à l'étude du premier algorithme complet de quantum machine learning : VQC.

Après avoir complété le tutoriel sur cet algorithme, qui proposait notamment de faire une classification sur un jeu de données avec 2 features pour chaque donnée, je suis en train de travailler sur la classification d'un jeu de données contenant des images de chiffres écrits par la main de l'homme. Cette étape est assez bloquante puisque le score sur le jeu de test est d'environ 10% (ce qui, sur 10 chiffres à reconnaître, signifie une reconnaissance au hasard).

Ce blocage me permet de découvrir de nouvelles techniques autour du machine learning telles que SPSA, un optimiseur adapté aux environnements bruités, de revoir le PCA, ...

## Séquence 3

quand : début du stage + 14 semaines

à qui : tuteur

### État d'avancement du travail

Le chapitre VQC est terminé. J'ai pu apporter la réponse finale sur le non-fonctionnement du modèle avec le jeu de données MNIST (dû notamment à la réduction de dimension drastique appliquée aux feature vectors) et j'ai pu faire une démonstration avec un autre jeu de données sur le covid. Cette présentation est donc le deuxième cours que je transmets à l'équipe support d'IBM. Cette étude aura été assez longue, mais le sentiment général après la présentation était très positif, et je pense avoir réussi à leur expliquer les concepts de machine learning nécessaires à la compréhension des éléments de VQC. J'ai aussi pu découvrir des comportements assez spécifiques des modèles de machine learning en environnement quantique : les plateaux de Barren (qui m'ont posés quelques problèmes).

Maintenant que la partie VQC est achevée, j'ai pu commencer à travailler sur QSVC, qui est l'équivalent quantique des machines à vecteurs support du machine learning classique. L'étude de cet algorithme a été assez rapide, puisqu'il se base sur la bibliothèque sklearn, avec un kernel particulier.

Entre toutes mes études, j'ai pu répondre à des questions d'utilisateurs dits *open*, sur le slack de Qiskit. Ces questions concernaient notamment des circuits trop grands pour être exécutés, ou encore des codes utilisant d'anciennes versions de Qiskit.

Aujourd'hui, je mets mes connaissances à jour sur les réseaux de neurones pour attaquer les réseaux de neurones hybrides classiques-quantiques.

## **Séquence 4**

quand : début du stage + 18 semaines

à qui : tuteur

### **État d'avancement du travail**

## **Séquence 5**

quand : début du stage + 22 semaines

à qui : tuteur et responsable des stages

### **État d'avancement du travail**

### **État d'avancement du rapport de stage**

Consultez sous eCampus le document : Stages 5A > Modalites ET5-2021-2022.pdf

### **État d'avancement de la présentation du stage**

Consultez sous eCampus le document : Stages 5A > Modalites ET5-2021-2022.pdf