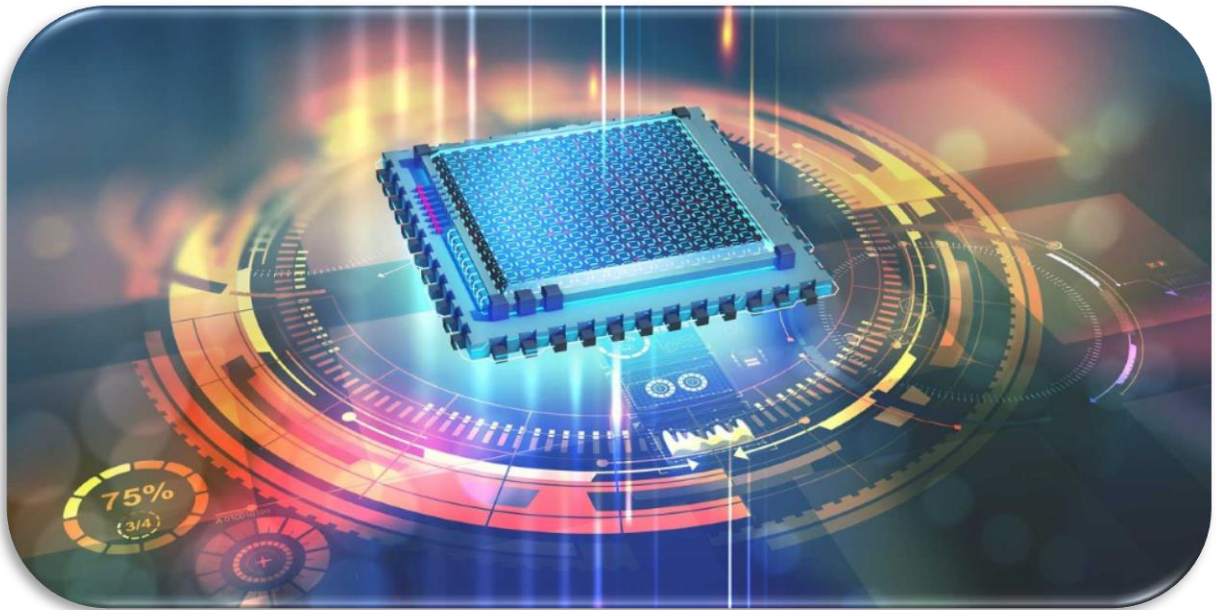


Khalil BAHRI - Xavier BERTAULD – Clément CHAMPION
Charles DELEFORGE – Axel MARLARD – Julia MOURIER

Ordinateur Classique Versus Ordinateur Quantique

Rapport de conduite de projet



Sous la direction de l'enseignant-chercheur Samuel DELEPLANQUE

Table des matières

I. Etape 1 - Démarrage	3
1. Analyse du besoin	3
a. Contexte.....	3
b. Analyse fonctionnelle.....	3
c. Objectifs SMART.....	4
d. Budget.....	4
e. Echéance	4
f. Alternatives.....	4
g. Rentabilité.....	5
h. Matrice SWOT	6
2. GO/NO-GO du projet ?	7
II. Etape 2 - Planification	8
1. Découpe du projet	8
a. Organigramme des tâches du projet	8
b. Diagramme de PERTT.....	9
c. Diagramme de GANTT.....	10
2. Gestion du projet	10
a. Gestion des risques	10
b. Gestion de la communication	11
c. Gestion des ressources humaines	11
d. Gestion des parties prenantes	12
III. Phase d'exécution.....	14
1. Contrôle du projet.....	14
a. Calendrier.....	14
b. Communication.....	14
2. Les indicateurs de performances clefs.....	14
a. Taux de satisfaction client.....	14
b. Taux d'élèves ayant leur vœu 1	15
3. Modification de la planification	15
IV. Phase de clôture	16
1. Identification des points positifs/négatifs	16
Annexes.....	18

I. Etape 1 - Démarrage

1. Analyse du besoin

a. Contexte

Ce projet s'inscrit dans le cadre du semestre 2 du Master 1 à l'ISEN Lille et est intitulé « Ordinateur Classique Versus Ordinateur Classique ». Il consiste à étudier les avancées réalisées par les ordinateurs quantiques à base de recuit quantique (Quantum Annealing) en utilisant la résolution de problèmes d'optimisation. Le but étant de traiter ces problèmes avec des ordinateurs classiques et avec les ordinateurs quantiques de la société D-Wave et de comparer les résultats pour voir quelle méthode est la plus performante.

Nous avons traité deux problèmes : le Max-cut et celui de la répartition des projets. Etant donné que le problème Max-cut a été assez court à régler (une semaine), nous nous sommes concentrés sur le problème de répartition des projets qui possède

- Une cliente : Pascale Diener
- Un besoin : répartir les projets sans devoir le faire à la main
- Un produit : un algorithme permettant cette répartition.

b. Analyse fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle est un outil de construction de la qualité en conception. Elle se propose d'explicitier la demande du client par une analyse fonctionnelle du besoin qui permet d'identifier précisément les besoins à satisfaire ou les services à rendre. Elle étudie les relations entre : le système à concevoir, son environnement de façon à identifier, qualifier et quantifier les attentes du client qu'il faudra satisfaire.

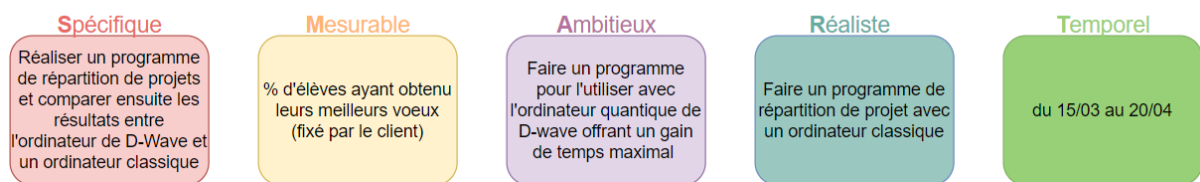
Pour cela, l'analyse est séparée en 3 fonctions distinctes :

- Les fonctions principales :
 - Répartir les élèves dans les différents projets
 - Comparer les résultats entre ordinateur quantique et classique
- La fonction secondaire :
 - Optimiser le temps pris pour la répartition
- Les fonctions contraintes :
 - Satisfaire le plus d'élèves possibles
 - Avoir plusieurs options pour laisser le choix au professeur gérant
 -

c. Objectifs SMART

Les objectifs SMART constituent une mnémotechnique permettant de définir les objectifs les mieux adaptés pour compléter et réussir un projet. Cela permet d'accélérer l'accomplissement du projet et d'améliorer ses chances de réussite. Dans notre cas de problème de répartition de projets nous prenons en compte : le produit final pour le client et également la comparaison de résultats entre les deux ordinateurs.

Objectifs SMART

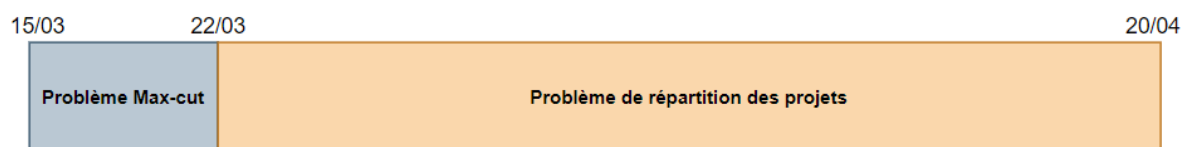


d. Budget

Etant donné que nous effectuons ce projet dans un cadre scolaire, nous considérons que le coût du personnel est inexistant à la vue de notre statut d'étudiant. Les seules dépenses que nous allons réaliser sont liées

e. Echéance

Le projet a été découpé de cette manière :



Une semaine pour traiter le problème « Max-cut » et le reste du temps concernant le problème de répartition des projets. L'échéance est fixée à la date de fin des projets pour le 20 avril 2021.

f. Alternatives

Créer un programme permettant de répartir les projets en prenant en compte les vœux des élèves est extrêmement intéressant car il ne possède pas d'alternatives plus pratiques. Car en réalité, la seule alternative pour affecter les différents projets est de le faire à la main et prend donc énormément de temps.

g. Rentabilité

Le calcul de la valeur actualisée nette va nous permettre de connaître la rentabilité de notre projet.

$$VAN = \sum_{p=0}^{p=N} \frac{CF}{(1+t)^p}$$

Avec :

$$CF = \text{recettes} - \text{charges}$$

Tout d'abord nous considérons que ce projet contribuera à faire connaître l'ISEN et permettra d'attirer de nouveaux étudiants chaque année. On considère donc que le flux entrant de trésorerie est la somme apportée par l'inscription de ces élèves. On estime qu'environ 7 élèves chaque année vont rejoindre l'ISEN grâce à la communication autour de ce projet, sachant que les frais de scolarité annuels sont de 8000€, les recettes annuelles sont donc de 56000€

Le prix de la licence D-Wave permettant de réaliser est de 335 € par mois donc 4020 € par an.

Ici :

$$CF = 56000 - 4020 = 51980$$

Année	Flux de trésorerie		VAN
0	$\sum_{p=0}^{p=N} 4020$	-4020 €	-4020 €
1	$\sum_{p=0}^{p=1} 51980 * (1 + 0.1)^{-p} - 4020$	46345 €	42325 €
2	$\sum_{p=0}^{p=2} 51980 * (1 + 0.1)^{-p} - 4020$	42132 €	84457 €

Calcul du TRI :

Le taux de rentabilité interne permet également de déterminer la rentabilité du projet

$$VAN = \sum_{p=0}^{p=N} \frac{recettes}{(1 + TRI)^p} - I$$

Si on considère le TRI à la fin de l'année 2 (en posant $VAN = 0$) :

$$VAN = \frac{recettes}{(1 + TRI)^2} - 4020 = 0$$

On a donc un $TRI = 1000\%$ au bout de deux ans

h. Matrice SWOT



2. GO/NO-GO du projet ?

Avant de décider du GO/NO-GO du projet, reprenons les éléments importants :

- Le projet s'il est réalisé, sera d'une grande utilité permettant un gain de temps concernant la répartition des projets et cela pour plusieurs années donc il possède une longévité importante.
- Concerne un domaine à la pointe de la technologie et pourra peut-être considéré par l'ISEN pour de la recherche grâce à la comparaison de résultats entre l'ordinateur quantique et l'ordinateur classique.
- Le projet pourra peut-être créer un partenariat avec la société D-Wave en vue d'utilisations plus poussées de leurs ordinateurs quantiques.
- Etant donné qu'il n'y a aucun coût réel que ce soit en déplacement ou en matériel, le projet ne peut qu'être rentable.

À la suite de tous ces éléments, nous avons décidé du GO du projet.

Projet : Ordinateur Classique versus Ordinateur Quantique

LET'S GO

II. Etape 2 - Planification

1. Découpe du projet

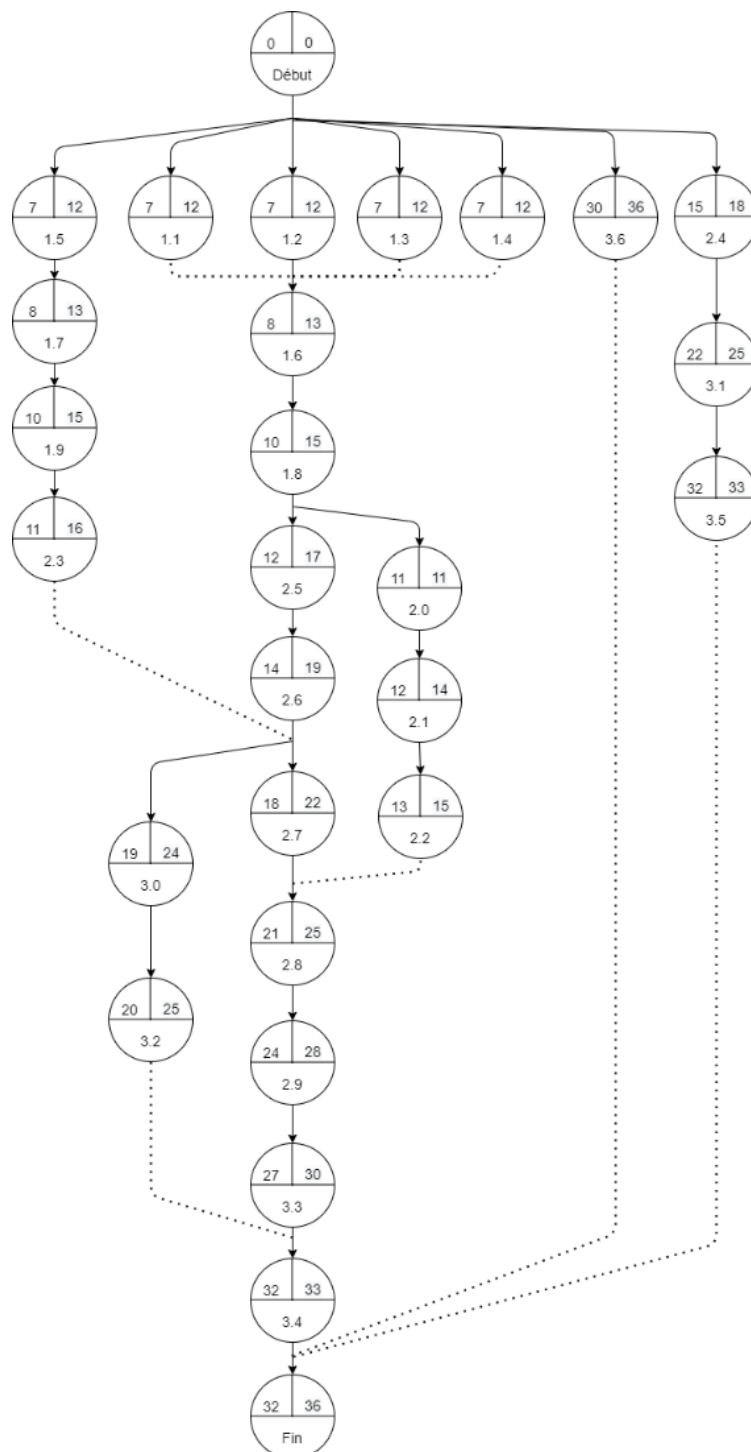
a. Organigramme des tâches du projet

Nous avons décidé de faire un organigramme WBS (work breakdown structure) est une décomposition hiérarchique des travaux nécessaires pour réaliser les objectifs d'un projet.



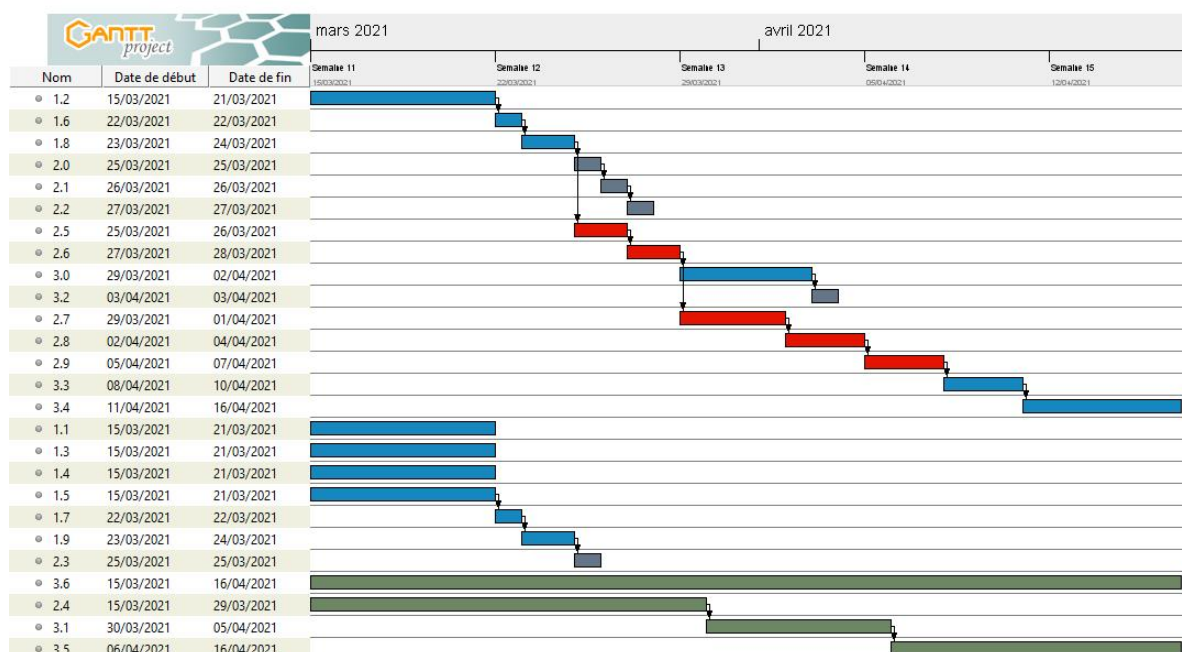
Le diagramme de PERTT a plusieurs utilités, il permet le séquençage et l'ordonnancement des tâches, de trouver le chemin critique et de l'optimiser.

Nous nous sommes basés sur les tâches à faire après chaque réunion (Annexe 1) :



c. Diagramme de GANTT

Le diagramme de GANTT permet de communiquer le planning du projet en se basant sur les tâches à réaliser (Annexe 1) :



2. Gestion du projet

a. Gestion des risques

Faire un tableau sur les risques permet d'apporter à notre groupe une vision plus réaliste de l'environnement dans lequel on travaille, de lister les risques pour les analyser et les anticiper permettant pour meilleure gestion du projet

	1 - Négligeables	2 - Mineur	3 - Modéré	4 - Majeur	5 - Critique	6 - Catastrophique
1- Rare	1	2	3	4	5	6
2 - Improbable	2	4	6	8	10	12
3 - Possible	3	6	9	12	15	18
4 - Probable	4	8	12	16	20	24
5 - Très probable	5	10	15	20	25	30
6 - Presque certains	6	12	18	24	30	36

Risques Identifiés	Conséquences	Causes	Probabilités	Impact	Niveau Risque	Prévention	Action
Pas de réponse de la part de D-Wave à nos questions	Limitation dans l'avancée du projet	D-Wave ne répond pas	3	2	6	Prospect personnel	Prospect personnel
Arrêt du service de la part de D-Wave	Partie du projet liée au quantique stoppée	D-Wave ne commercialise plus ses ordinateurs	1	6	6	Se renseigner sur d'autres fournisseurs	Aller à la concurrence
Mauvais renseignements par les étudiants	Répartition des projets faussée	Les entrées renseignées par les étudiants	5	4	20	Développement d'un script de vérification	

b. Gestion de la communication

Etant donné que certaines informations sont classées comme « confidentielles », il n'y a aucune communication externe avec d'autres élèves ou professeurs. Mais au contraire, nous avons mis en place une grosse communication interne entre les étudiants via Discord, avec notre responsable projet sur Teams au travers du chat et de réunions deux fois par semaine pour échanger sur le projet, nos avancées ou problèmes. Et avec notre cliente par mail pour le cahier des charges par exemple et également les avancées du projet.

c. Gestion des ressources humaines

i. GPEC - Gestion prévisionnelle de l'emploi et des compétences

La gestion prévisionnelle de l'emploi et des compétences ou GPEC sert à identifier les compétences clés du projet de chaque membre de l'équipe pour pouvoir préparer un plan d'action et répartir efficacement chaque personne en fonction de ce qu'elle maîtrise. Pour notre projet la GPEC correspond à :

	Code / Algorithmie		Recherche		Management	
	Python	glpk	Ordinateurs quantiques	Modélisation mathématique	Gestion de projet	Rapport
Khalil						
Xavier						
Clément						
Charles						
Axel						
Julia						

- 1 - Débutant : sait faire avec un formateur
 2 - Confirmé : Sait faire seul mais doit être contrôlé
 3 - Spécialiste : sait faire et peut contrôler
 4 - Expert : sait faire et sait former

ii. RACI - Responsible, Accountable, Consulted, Informed

La matrice RACI est une matrice des responsabilités. Elle indique les rôles et les responsabilités des membres de l'équipe au sein de chaque processus et activité du projet.

	Khalil	Xavier	Clément	Charles	Axel	Julia
Code / Algorithmie	C	C	C	C	R	A R
Recherche	C	C	C	C	A R	R
Rapport de conduite de projet	C	R	A R	C	C	C
Rapport global du projet	A R	C	C	R	C	C
Communication	C	C	C	A R	C	C

R- Responsable : Celui qui réalise la tâche

A - Accountable : Celui qui approuve la tâche

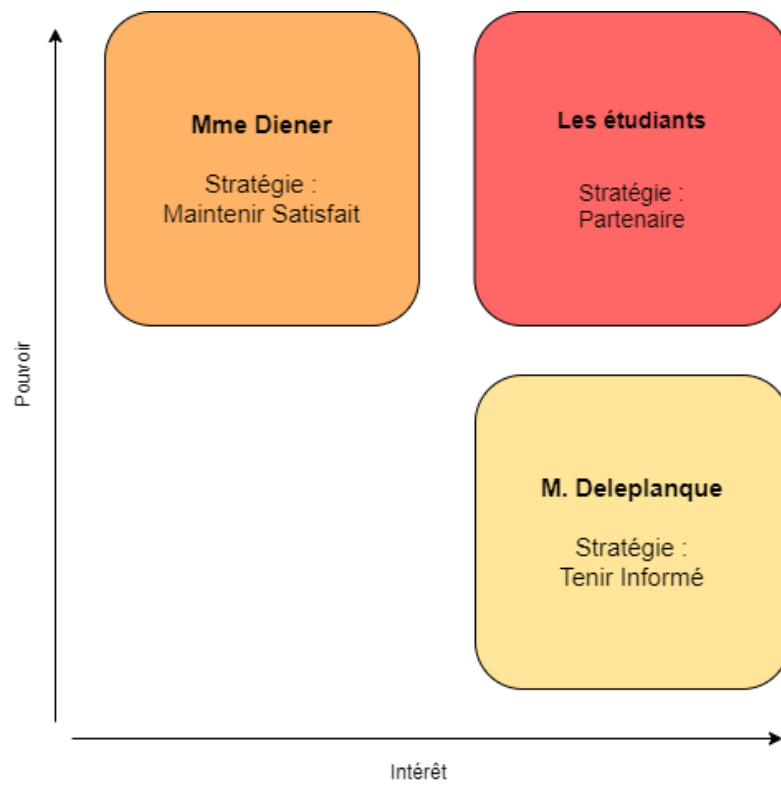
C - Consulted : Celui qui est consulté

I - Informed : Celui qui doit être informé

d. Gestion des parties prenantes

Pour atteindre les objectifs fixés, il est indispensable d'identifier les parties prenantes d'un projet, puis d'analyser leurs attentes et besoins. Il s'agit de l'ensemble des personnes et/ou des organisations qui ont quelque chose à voir avec le projet de près ou de loin.

Partie Prenante	Rôle dans le Projet	Intérêt dans le projet	Pouvoir d'influence	Impact potentiel sur le projet
Mme Diener	Client	Moyen	Moyen	Fort
M. Deleplanque	Responsable projet	Fort	Très fort	Fort
Les étudiants	Réalisateur	Très fort	Moyen	Très fort

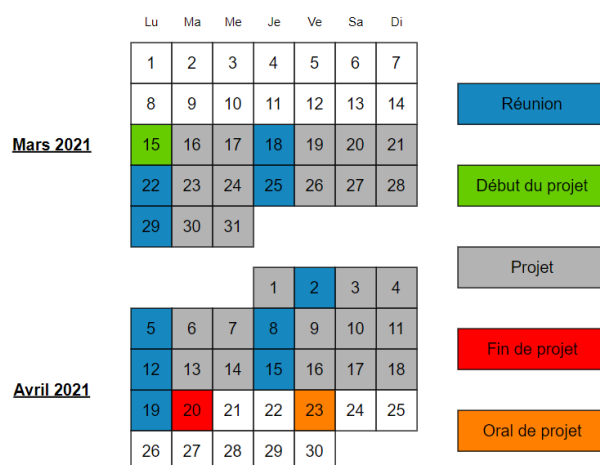


III. Phase d'exécution

1. Contrôle du projet

a. Calendrier

Pour notre projet, nous avons convenu de faire deux réunions par semaine, les lundis et jeudis à 14h30. Les réunions duraient entre 30 minutes et une heure et nous permettaient de discuter avec notre responsable projet, lui faire part de nos avancées ainsi que de nos problèmes.



b. Communication

Nous avons choisi un seul porte-parole pour discuter avec notre cliente, et également un porte-parole pour échanger par mail avec la société D-Wave. Cette décision a été prise pour rendre tout d'abord les échanges plus fluides, éviter les pertes d'informations, de gagner du temps et de permettre une meilleure redistribution des informations au reste du groupe.

Également, pour la partie développement de l'algorithme, nous avons un github en commun avec les différents scripts et parties de code disponibles pour toute l'équipe.

2. Les indicateurs de performances clefs

a. Taux de satisfaction client

Notre cliente réalisait la répartition des projets à la main, elle devait répartir 170 élèves sur 39 projets en se basant sur leurs vœux pour qu'ils soient le plus satisfait possible. On peut donc mesurer le taux de satisfaction de notre cliente en mesurant le temps gagné, l'objectif étant de ne pas mettre plus de temps à la répartition qu'avant. Nous avons donc calculé la différence de temps entre sa méthode à la main appelé : T1 théorique et notre algorithme : T1 expérimental.

Etant donné qu'elle mettait environ 8 heures à les répartir, T1 théorique = 8h

Comme notre algorithme calcule instantanément, nous avons T1 expérimental = 0h

Donc la différence de temps est de 100% soit le gain de temps maximal possible et l'objectif initial est respecté.

b. Taux d'élèves ayant leur vœu 1

L'indicateur le plus important pour la répartition des projets concernait le pourcentage d'élèves ayant leur vœu 1 que l'on va appeler P1. Notre cliente, Mme DIENER avec sa méthode avait P1 = 58.8%. Donc le P1 théorique de ce problème est donc 58.8%. L'objectif ici était d'avoir un taux supérieur qu'avec sa méthode. Et donc avec notre algorithme permettant une répartition automatique, nous arrivons à P1 expérimental = 70.6%:

```
Pour l'option 1 : 70.58823529411765%  
Pour l'option 2 : 18.823529411764707%  
Pour l'option 3 : 9.411764705882353%  
Pour l'option 4 : 1.1764705882352942%  
Pour l'option 5 : 0.0%
```

Pour calculer notre indicateur, nous prenons la formule de variation qui est :

$$Evolution = \frac{(P1 \text{ expérimental} - P1 \text{ théorique})}{P1 \text{ théorique}} * 100$$

Ce qui donne ici une évolution de 20.1 % et l'objectif est respecté.

3. Modification de la planification

Notre projet étant composé de deux parties distinctes, la première étant sur le procédé Max-Cut et la seconde sur le problème de répartition des projets. Ces parties ne répondent pas aux mêmes demandes nous avons dû adapter notre façon de gérer nos ressources car la répartition de projet nous a demandé d'établir un contact avec un client, établir un cahier des charges et gérer le fait que maintenant nous possédions une date finale pour rendre notre produit chose qui n'est jamais intervenu quand nous travaillions sur Max-cut.

Etant donné que nous avons fini l'algorithme en respectant totalement le cahier des charges de base en avance par rapport au planning, nous avons discuté avec notre cliente Mme DIENER pour rajouter des fonctionnalités supplémentaires qui n'étaient pas prévues à la base.

Et vers la fin du projet, nous avons pu allouer des ressources supplémentaires à la finition de l'algorithme car certaines tâches étaient finis en avance par rapport au planning.

IV. Phase de clôture

1. Identification des points positifs/négatifs

Catégorie	Note
Communication :	4/5
Ambiance :	5/5
Réunion :	3/5
Gestion de projet :	3.5/5
Recherche :	5/5
Suivi client :	5/5



- Communication :

Dès le début du projet, nous avons mis en place un groupe Teams avec les membres de l'équipe et le responsable projet pour planifier/faire les réunions, poser les questions et mettre les résultats « officiels » à disposition. Mais également un groupe sur Discord entre les membres de l'équipe pour pouvoir discuter constamment sur tous les sujets liés au projet, discuter de nos avancements respectifs et partager les résultats même s'ils n'étaient pas finis. Et enfin spécialement pour la partie de l'algorithme, un Github permettant de récupérer les différents scripts à n'importe quel moment. Cependant, nous ne pouvions pas communiquer sur ce projet avec d'autres étudiants hors de notre groupe car il nous a été demandé de garder confidentielles certaines informations concernant la répartition des projets. De ce fait la communication externe autour du projet et de nos méthodes de travail ou même de notre travail en lui-même est inexistante.

- Ambiance :

Il y a eu une très bonne ambiance tout le long du projet entre les membres de l'équipe ce qui a permis de travailler efficacement et dans de bonnes conditions. C'est un point qui est forcément à garder pour de futurs projets.

- Réunion :

Comme nous l'avons précisé précédemment dans le rapport, nous avons réalisé pendant toute la durée du projet de nombreuses réunions avec les différentes parties prenantes du projet. Nous tenions des réunions entre les différents membres du projet à des intervalles aléatoires, nous les faisions quand nous ressentions le besoin ou qu'un membre le sollicitait. En parallèle nous tenions deux fois par semaine une réunion avec les membres du projet et M. Deleplanque pour le tenir au courant de nos avancées. La communication et les échanges entre les différents intervenants a grandement contribué à la bonne avancée du projet et a permis à de nombreuses reprises de débloquent des situations dans lesquelles nous nous retrouvions bloqués.

Les deux réunions hebdomadaires d'une heure étaient nécessaires car étant donné que le projet possédait un aspect recherche et un aspect développement, nous avons besoin de temps pour échanger avec notre responsable sur les sujets pointus de physique quantique et d'optimisation. Cependant, appliquer un système de réunions journalières de 10 minutes pouvaient aussi être implantées.

- Gestion de projet :

La gestion de projet a fonctionné malgré certaines difficultés car notre projet contenait en quelque sorte deux projets : le problème Max-cut et le problème de répartition de projet. Et concernant ce dernier, en plus de l'aspect recherche sur les résultats avec des ordinateurs quantiques, il y avait aussi un aspect développement d'algorithme.

- Recherche :

La partie recherche a été très bien faite sur les deux problèmes à résoudre du projet dû à une bonne séparation des tâches et à un travail efficace. Etant très satisfait de nos résultats obtenus entre l'ordinateur quantique et l'ordinateur classique sur le problème Max-Cut, nous avons eu le droit à un tweet les citant de Madame Isabelle LEFEBVRE, enseignante-chercheuse à l'ISEN.



- Suivi client :

Le suivi client s'est révélé être un de nos points forts tout le long du projet et plus précisément concernant la répartition de projet car tout d'abord, nous avons discuté d'un cahier des charges précis avec notre cliente pouvant évoluer au fil des semaines. Également, nous avons mis en place une notice d'utilisation pour permettre non seulement à la cliente de pouvoir utiliser facilement l'algorithme, mais cela permet aussi de le transmettre à d'autres personnes si le responsable de la répartition des projets venait à changer dans le futur. Et enfin nous avons instauré un « service après-vente » : possibilité d'aide ou de modification de certaines caractéristiques de l'algorithme même après la fin du projet pour répondre à une potentielle évolution du besoin.

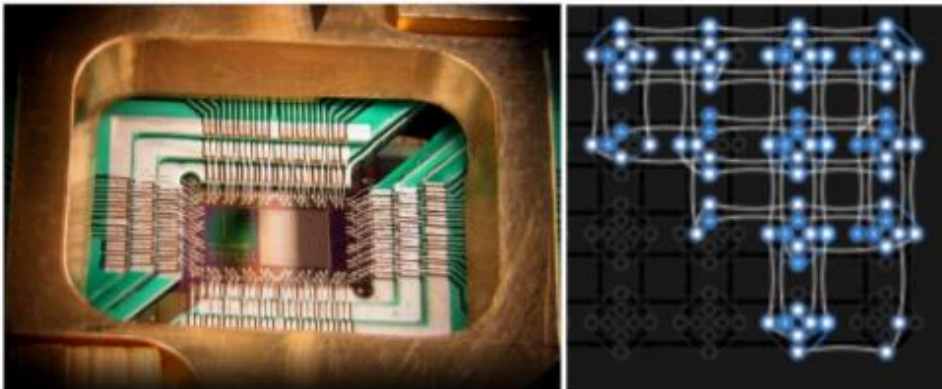
Annexes

Annexe 1 : Liste des tâches

- 1.1- Trouver les limites (sommet, arête...) de chaque calculateur (même BinaryQuadraticModel)
- 1.2- Calculer les différents temps d'exécution et donner une approximation mathématique (temps exponentiel...)
- 1.3- Calculer les probas (pour la meilleure valeur d'énergie et les deux premières), espérance, et espérance de lancer pour être sûr à 98-99% d'avoir une (très) bonne solution.
- 1.4- Réfléchir à la conception du graphe de la répartition des projets.
- 1.5- Regarder le code plus en détail, voir le code du constructeur de BinaryQuadraticModel, ExactSolution... => voir si c'est réimplémentable (et si la limite des sommets vient de là) + librairies existantes.
- 1.6- Regarder les deux vidéos de D-Wave comme introduction aux modèles mathématiques.
- 1.7- Temps d'ordinateurs hybrides + Etudier le fonctionnement ordis hybrides.
- 1.8- Modélisation mathématiques du problème de distribution des projets.
- 1.9- Voir si le nombre de qubit influe sur le temps ou la qualité des solutions.
- 2.0- Demander à Diener un cahier des charges.
- 2.1- Faire un cahier des charges.
- 2.2 - Envoyer le cahier des charges à Mme Diener.
- 2.3 - Rédiger un premier brouillon de mail à Dwave.
- 2.4 – Etape 1 – Démarrage du rapport de conduite de projet.
- 2.5- Créer le fichier lp.
- 2.6 - Implémenter un algo de vérification.
- 2.7 - Récupérer la solution des .lp sur windows avec glpk .
- 2.8 - Créer un script python permettant de transcrire les données d'entrée de Diener en les classes utilisé par le générateur de .lp.
- 2.9 - Créer un script python pour interfacer les résultats sortis par glpk (ou autre) => nécessite l'étape 2.7.
- 3.0 - Commencer les recherches sur la méthode de résolution quantique, utilisation des ordis hybrides, calculs du multiplicateur de Lagrange.
- 3.1 – Etape 2 – Planification du rapport de conduite de de projet
- 3.2 - Faire valider le mail pour D-wave et l'envoyer
- 3.3. - Trouver d'autres solutions avec glpk.
- 3.4 - Voir si on a la meilleure solution (=> comparer avec l'ordi classique pour le max de sommet possible)
- 3.5 – Etape 3 – Exécution du rapport de conduite de projet.
- 3.6 – Rapport global du projet.

Cahier des Charges

Réalisation d'un programme pour résoudre le problème de répartition des projets avec l'utilisation d'ordinateurs quantiques D-Wave



Groupe :

Khalil BAHRI - Xavier BERTAULD

Clément CHAMPION - Charles DELEFORGE

Axel MARLARD – Julia MOURIER

Cliente :

Madame Pascale DIENER

Date de rendu des livrables :

23/04/2021

JUNIA ISEN

Présentation du projet :

Dans le cadre du projet 19 – Ordinateur Classique vs ordinateur quantique, proposé en M1 à l'ISEN, nous souhaitons résoudre le problème de répartition des projets par étudiants. L'idée principale est d'utiliser les ordinateurs fournis par D-Wave pour obtenir une résolution du problème rapide et facile à utiliser.

Définition du problème :

Aujourd'hui, il n'existe pas d'algorithme permettant de résoudre la répartition des projets de M1. En effet, chaque année dans le cadre de nos études, l'ISEN propose des projets afin de développer nos capacités. Ainsi nous formulons 5 vœux sur l'ensemble des sujets proposés dans un ordre de préférence. La problématique est donc la suivante : Comment distribuer les projets pour qu'un maximum d'étudiants obtiennent leur vœu le plus élevé ? Comment faire pour avoir un taux de satisfaction haut ?

Contraintes :

A la fin notre solution devra bien évidemment répondre à quelques contraintes. Tout d'abord la solution doit s'adapter au nombre d'étudiants et de projets, elle devra attribuer 1 et un seul projet à chaque étudiant. La solution devra aussi être capable de prendre en compte la spécialité d'un élève pour lui attribuer un projet, pour cela on pourrait par exemple mettre des poids selon les options. Elle devra également éviter d'attribuer à un étudiant les 4ème et 5ème vœux si possible. Dans tous les cas plusieurs résultats (10 environ) devront être disponibles afin de laisser plusieurs choix à la personne en charge de l'attribution des projets.

Puisque la technologie visée pour ce projet sont les ordinateurs à annealing de D-Wave (il s'agit donc d'une méthode de recuit mais nous réaliserons aussi une solution exacte pour voir la différence de temps), il faudra aussi que le temps d'utilisation n'excède pas celui disponible sur la plateforme.

Cependant, comme nous ne connaissons pas la technologie D-Wave dans son intégralité, nous commencerons par résoudre le problème sur un ordinateur classique avant de l'adapter sur un ordinateur quantique. Pour cela, nous allons dans un premier temps résoudre le problème avec un modèle mathématique qui sera utile pour l'implémentation sur les deux ordinateurs.

Date de rendu :

En dernier lieu, l'utilisation du livrable devra être facile et documentée. Celui-ci devra être rendu le 23/04/21.