

# Autour des diagrammes de décision quantiques

Malo Leroy

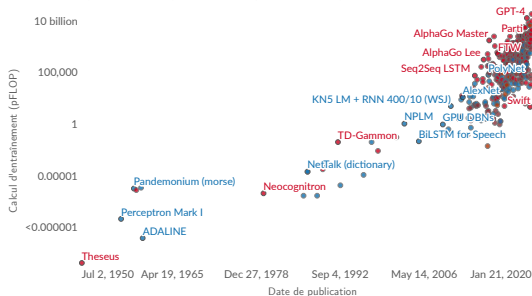
Parcours recherche – CentraleSupélec

23 mai 2024

# Les besoins en puissance de calcul croissent rapidement

Calcul utilisé pour entraîner les systèmes d'intelligence artificielle

Our World in Data

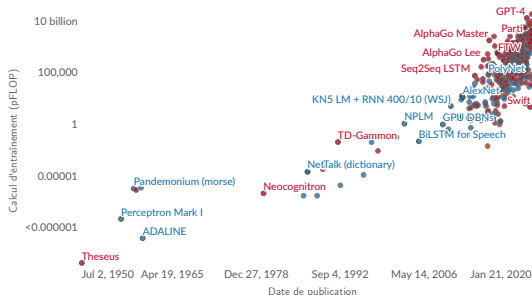


Les algorithmes classiques sont parfois inefficaces

# Les besoins en puissance de calcul croissent rapidement

Calcul utilisé pour entraîner les systèmes d'intelligence artificielle

Our World in Data



Les algorithmes classiques sont parfois inefficaces  
Les **algorithmes quantiques** permettent de résoudre  
certains problèmes plus efficacement

Les machines quantiques sont en développement



Il y a un besoin d'outils de développement et vérification  
d'algorithmes quantiques

Les machines quantiques sont en développement



Il y a un besoin d'outils de développement et vérification d'algorithmes quantiques

Cela nécessite une **structure de données** adaptée

## État de l'art

- Interprétation abstraite
- Arithmétique des intervalles réels
- Diagrammes de décision quantiques

## État de l'art

- Interprétation abstraite
- Arithmétique des intervalles réels
- Diagrammes de décision quantiques

Solution : diagrammes additifs abstraits

L'**interprétation abstraite** permet de déterminer des propriétés ou d'accélérer des calculs

Exemple : signe d'une expression  $e = (3 + 2) \times (-5)$

$$\begin{aligned}\text{signe}(e) &= (\text{signe}(3) + \text{signe}(2)) \times \text{signe}(-5) \\ &= (\oplus + \oplus) \times \ominus \\ &= \oplus \times \ominus \\ &= \ominus\end{aligned}$$



L'interprétation abstraite est applicable aux **intervalles réels**

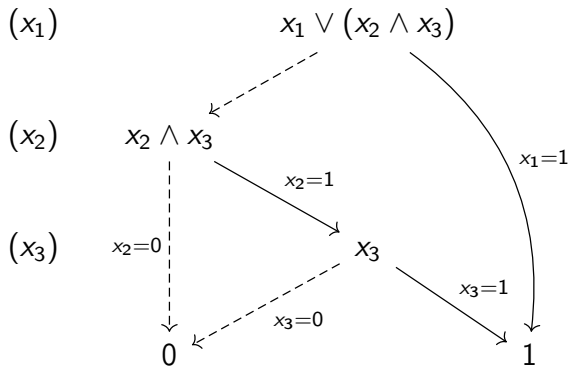
$$[1,2] * [-1,1] = [-2,2]$$

$$[1,2] + [-1,1] = [0,3]$$

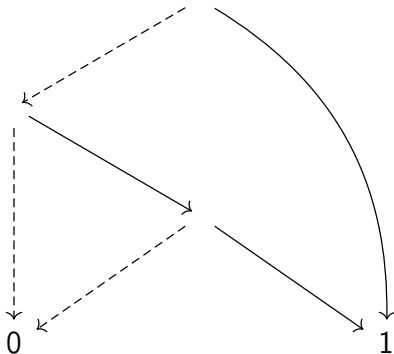
$$[1,2] \wedge [-1,1] = [1,1]$$

$$[1,2] \vee [-1,1] = [-1,2]$$

Les **diagrammes de décision** permettent de représenter des fonctions booléennes



Les **diagrammes de décision** permettent de représenter des fonctions booléennes



Un **état quantique** est une superposition d'états incompatibles

$$|\psi\rangle = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle \quad (\text{un qubit})$$

Un **état quantique** est une superposition d'états incompatibles

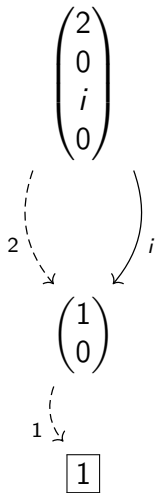
$$|\psi\rangle = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle \quad (\text{un qubit})$$

$n$  qubits  $\Rightarrow 2^n$  états incompatibles

On note les états sous forme de **vecteurs**

$$x |01\rangle + y |11\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ x \\ 0 \\ y \end{pmatrix}$$

On peut représenter des états avec des **diagrammes de décision quantiques**



## Retour sur l'état de l'art

- ✓ Interprétation abstraite
- ✓ Arithmétique des intervalles réels
- ✓ Diagrammes de décision quantiques

On va utiliser ces concepts ensemble,  
avec une nouveauté : l'**additivité**



## Retour sur l'état de l'art

- ✓ Interprétation abstraite
- ✓ Arithmétique des intervalles réels
- ✓ Diagrammes de décision quantiques
- + Nouveauté : additivité

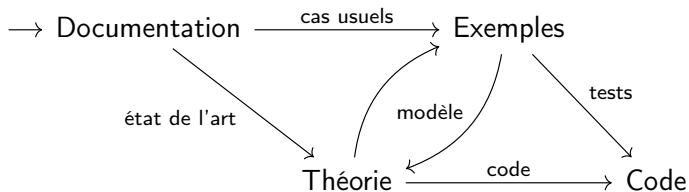
Solution : diagrammes additifs abstraits



## Objectifs

- **Modèle formel** de diagrammes de décision additifs abstraits
- **Implémentation** du modèle

## Méthodologie



(Ici, exemple d'un diagramme  
abstrait additif)

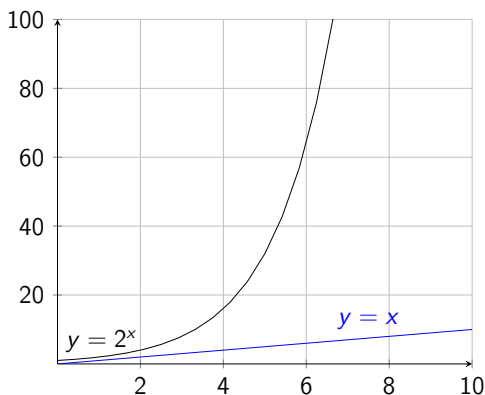
(Ici, réduction du précédent diagramme)

## Modèle

- ✓ Intervalles de  $\mathbb{C}$  cartésiens & polaires
- ✓ Diagrammes
- ✓ Approximation locale, globale
- ✓ Fusion forcée
- ✓ Algorithmes de réduction

## Implémentation

- ✓ Intervalles de  $\mathbb{C}$  cartésiens & polaires
- ✓ Diagrammes : construction, évaluation
- ✓ Diagrammes aléatoires
- ✓ Fusion forcée
- ~ Algorithmes de réduction



L'avantage en nombre de nœuds est **exponentiel** pour le *proof of concept*

## Suite

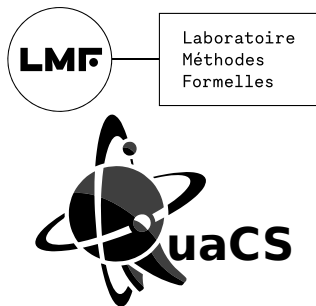
- **Ajustements**
  - Fonctions d'erreur
  - Algorithmes de réduction
- Nouveaux concepts
  - Multi-valuation (QMDD)
  - Carte locale inversible (LIMQDD)



# Cadre du projet

## Formation future

- **Encadrant** : Renaud Vilmart
- **Équipe** : QuaCS
- **Laboratoire** : Laboratoire  
Méthodes Formelles



## Continuer la formation en **informatique théorique**

### Électifs

- Génie logiciel orienté objet
- Informatique théorique
- Calcul haute performance
- Modèles et sys. pour la gestion de données

### Complément scientifique : métaheuristiques

## S8 envisagés

- Digital Tech Year
- S8 à CentraleSupélec
  - Continuité du projet
- Mobilité internationale

## Dominantes / mentions

- **Informatique et numérique**

- Sciences du logiciel
- Architecture des systèmes informatiques

- **Physique et nanotechnologies**

- Quantum engineering

# Conclusion

# Questions

## Complément sur les césures

### ■ Digital Tech Year

- Semestre au Paris Digital Lab
- Semestre en entreprise à l'international

### ■ Stage

- Entreprise
- Laboratoire
- France ou à international

### ■ Stage en laboratoire

- En France ou à l'international



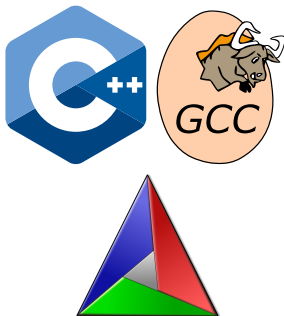
## Implémentation

### ■ Code

- Langage C++
- GNU C Compiler (GCC)
- CMake

### ■ Tests

- Google Test
- GitHub Actions



Mise en forme

- **Versionnage**

- Git
- GitHub

- **Documentation**

Doxygen

