

ANNEXES

Tableau des données disponibles (*testbench*) :

Sector	Region		
	American	European	Asian
Trading index	Dow Jones (DIA)	FTSE 100 (EZU)	Nikkei 225 (EWJ)
	S&P 500 (SPY)		
	NASDAQ (QQQ)		
Technology	Apple (AAPL)	Nokia (NOK)	Sony (6758.T)
	Google (GOOGL)	Philips (PHIA.AS)	Baidu (BIDU)
	Amazon (AMZN)	Siemens (SIE.DE)	Tencent (0700.HK)
	Facebook (FB)		Alibaba (BABA)
	Microsoft (MSFT)		
	Twitter (TWTR)		
Financial services	JPMorgan Chase (JPM)	HSBC (HSBC)	CCB (0939.HK)
Energy	ExxonMobil (XOM)	Shell (RDSA.AS)	PetroChina (PTR)
Automotive	Tesla (TSLA)	Volkswagen (VOW3.DE)	Toyota (7203.T)
Food	Coca Cola (KO)	AB InBev (ABl.BR)	Kirin (2503.T)

Open-High-Low-Close-Volume. Données caractérisant le marché boursier. Plus précisément, peut s'exprimer comme suit :

$S_t = \left\{ p_t^O, p_t^H, p_t^L, p_t^C, V_t \right\}$ tels que

- p_t^O est le cours de bourse à l'ouverture de la période $[t - \Delta t, t[$
- p_t^H est le cours boursier le plus élevé sur la période $[t - \Delta t, t[$
- p_t^L est le cours boursier le plus bas sur la période $[t - \Delta t, t[$
- p_t^C est le cours de bourse à la clôture de la période $[t - \Delta t, t[$
- V_t est le volume total d'actions échangées sur la période $[t - \Delta t, t[$

Double DQN (Double Deep Q-Network) est une extension de l'algorithme DQN (Deep Q-Network) qui résout un problème majeur de sur-estimation de la fonction Q, qui est utilisée pour évaluer la qualité de chaque action possible dans un état donné dans les méthodes de renforcement par apprentissage profond. Dans le DQN classique, la fonction Q est évaluée en prenant le maximum des valeurs Q pour l'état suivant, parmi toutes les actions possibles. Cependant, cela peut conduire à une sur-estimation des valeurs Q car la même fonction d'estimation est utilisée pour choisir et évaluer une action. Dans le Double DQN, deux réseaux de neurones sont utilisés, l'un pour choisir l'action et l'autre pour estimer sa valeur. En particulier, l'un des réseaux de neurones est utilisé pour sélectionner l'action suivante, tandis que l'autre est utilisé pour évaluer la valeur de cette action. Donc, au lieu de prendre le maximum des valeurs Q pour l'état suivant avec un seul réseau, on utilise un réseau pour sélectionner l'action suivante et un autre réseau pour évaluer la valeur de cette action. Cela permet de réduire les sur-estimations et d'améliorer les performances de l'algorithme.

RMSProp (Root Mean Square Propagation) est un algorithme d'optimisation de descente de gradient stochastique utilisé pour entraîner des réseaux de neurones profonds (deep learning). Il a été proposé par Geoffrey Hinton en 2012. L'objectif de RMSProp est d'adapter le taux d'apprentissage (learning rate) de chaque poids du réseau de neurones de manière adaptative pour améliorer la convergence de l'algorithme d'apprentissage. RMSProp utilise une moyenne mobile exponentielle des carrés des gradients pour normaliser le taux d'apprentissage. Pour chaque poids du réseau de neurones, RMSProp maintient une moyenne mobile exponentielle des carrés des gradients précédents. Cette moyenne est ensuite utilisée pour normaliser les gradients actuels avant de les utiliser pour mettre à jour les poids. Cette normalisation aide à éviter les oscillations du taux d'apprentissage et à prévenir les problèmes de convergence. RMSProp est une amélioration par rapport à l'algorithme Adagrad, car il permet une adaptation plus rapide du taux d'apprentissage. Il a été largement utilisé avec succès pour l'apprentissage profond, y compris pour la reconnaissance de la parole, la vision par ordinateur et la traduction automatique.

ADAM (Adaptive Moment Estimation) est un algorithme d'optimisation de descente de gradient stochastique utilisé pour entraîner des réseaux de neurones profonds (deep learning). Il a été proposé par Diederik Kingma et Jimmy Ba en 2014. L'objectif d'ADAM est d'adapter le taux d'apprentissage (learning rate) de chaque poids du réseau de neurones de manière adaptative pour améliorer la convergence de l'algorithme d'apprentissage. ADAM utilise une combinaison de deux moyennes mobiles exponentielles des gradients

pour adapter le taux d'apprentissage de manière adaptative. Pour chaque poids du réseau de neurones, ADAM maintient deux moyennes mobiles exponentielles des gradients précédents : une moyenne des gradients et une moyenne des carrés des gradients. Ces moyennes sont ensuite utilisées pour normaliser les gradients actuels avant de les utiliser pour mettre à jour les poids. Cette normalisation aide à éviter les oscillations du taux d'apprentissage et à prévenir les problèmes de convergence. ADAM est une amélioration par rapport à d'autres algorithmes d'optimisation, tels que RMSProp et Adagrad, car il prend en compte les deux moments du gradient, ce qui permet une adaptation plus rapide et plus précise du taux d'apprentissage.

Initialisation de Xavier vise à régler les poids initiaux d'un réseau de neurones de telle manière que les sorties de chaque couche du réseau ont une variance constante. Cela permet de maintenir la variance des gradients à peu près constante à travers les couches, ce qui facilite la convergence de l'algorithme d'apprentissage. L'initialisation de Xavier échantillonne les poids initiaux à partir d'une distribution gaussienne centrée sur zéro et d'une variance qui dépend du nombre de neurones dans la couche d'entrée et de sortie. Pour une couche avec n entrées et m sorties, la variance de la distribution est de $2/(n + m)$. Cette initialisation permet donc d'adapter la variance des poids en fonction du nombre d'entrées et de sorties de la couche, ce qui aide à éviter les explosions et les effondrements de gradients lors de l'entraînement du réseau.

Dropout consiste à aléatoirement désactiver un certain pourcentage de neurones lors de l'entraînement, ce qui permet d'éviter la sur-spécialisation sur certaines données et favorise une généralisation plus robuste.

Régularisation L2 pénalise les grandes valeurs des poids du réseau de neurones en ajoutant un terme de régularisation à la fonction de coût, ce qui permet de limiter leur importance dans la décision finale.

Early stopping. L'arrêt prématuré de l'apprentissage (*early stopping*) consiste à interrompre l'entraînement lorsque la performance sur un ensemble de validation commence à se dégrader, ce qui permet de limiter le surapprentissage et de trouver un compromis entre biais et variance.

Prétraitements

Tout d'abord, un filtre passe-bas est appliqué pour réduire le bruit à haute fréquence dans les données de *trading*, qui a été observé expérimentalement pour réduire la généralisation de l'algorithme. Cependant, cette opération de prétraitement a un coût car elle peut modifier ou même supprimer certains motifs de trading potentiellement utiles et introduire un délai non négligeable. Ensuite, les données résultantes sont transformées pour mettre en valeur des informations plus significatives sur les mouvements du marché, généralement l'évolution quotidienne des prix plutôt que les prix bruts. Enfin, les données restantes sont normalisées.

Ratio de Sharpe est une mesure de performance financière qui permet d'évaluer le rendement ajusté au risque d'un investissement ou d'un portefeuille d'investissement. Il a été développé par William F. Sharpe, un économiste américain lauréat du prix Nobel d'économie en 1990. Le ratio de Sharpe est calculé en prenant le rendement d'un investissement ou d'un portefeuille et en le soustrayant du taux de rendement sans risque, puis en divisant le résultat par l'écart-type (la volatilité) du rendement. Le résultat est une mesure de la performance ajustée au risque de l'investissement.

Le ratio de Sharpe est calculé comme suit :

$$\frac{\text{Rendement de l'investissement} - \text{Taux de rendement sans risque}}{\text{Écart-type du rendement de l'investissement}}$$

Un ratio de Sharpe élevé indique que l'investissement génère un rendement élevé pour chaque unité de risque prise. C'est une mesure importante pour les investisseurs car elle permet de comparer différentes options d'investissement et de déterminer si un investissement est rentable compte tenu du niveau de risque qu'il présente.

Ratio de Sortino est une mesure de performance financière qui évalue le rendement ajusté au risque d'un investissement ou d'un portefeuille d'investissement en se concentrant uniquement sur le risque de baisse (downside risk). Cette mesure est considérée comme une amélioration du Ratio de Sharpe car elle prend en compte uniquement la volatilité négative du rendement plutôt que la volatilité totale. Le Sortino Ratio est calculé en divisant le rendement excédentaire de l'investissement par l'écart-type de la volatilité négative du rendement. La volatilité négative est mesurée en utilisant l'écart-type des rendements négatifs.

Le Sortino Ratio est calculé comme suit :

$$\frac{\text{Rendement de l'investissement} - \text{Taux de rendement sans risque}}{\text{Écart-type de la volatilité négative du rendement}}$$

Le Sortino Ratio est particulièrement utile pour les investisseurs qui sont préoccupés par les risques de baisse et qui cherchent à minimiser les pertes potentielles. Un ratio de Sortino élevé indique que l'investissement a généré un rendement supérieur pour chaque unité de risque de baisse prise. Cependant, il convient de noter que le Sortino Ratio ne mesure que la volatilité négative, et ne prend donc pas en compte les risques positifs de volatilité.

Position. En trading, la position est la situation dans laquelle se trouve un trader lorsqu'il détient un actif financier ouvert sur le marché. Plus précisément, la position d'un trader peut être longue ou courte. Une position longue signifie que le trader a acheté un actif financier dans l'espoir que son prix augmentera. Le trader détient alors une position positive sur l'actif et peut réaliser un bénéfice en vendant l'actif à un prix supérieur à son prix d'achat. En revanche, une position courte signifie que le trader a vendu un actif financier qu'il ne possède pas dans l'espoir que son prix baissera. Le trader détient alors une position négative sur l'actif et peut réaliser un bénéfice en rachetant l'actif à un prix inférieur à son prix de vente initial.