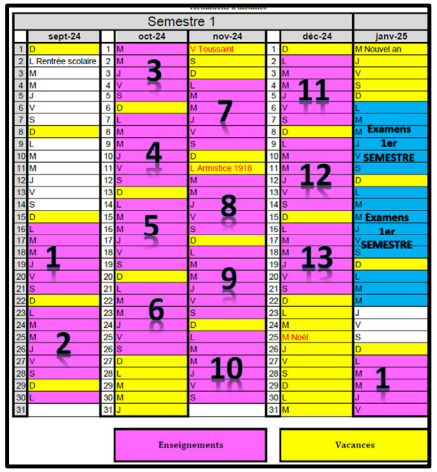
Présentation du cours de Finance (M1)
2024-2025

Université Paris 1 – Panthéon Sorbonne
Ecole de Management de la Sorbonne

- Cours assuré par Jean-Paul Laurent
  - *Professeur, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne*
- Enseignement en Magistère Finance 1er année, en M1 Finance (S2 – Gestion des Risques Financiers) en M2 Finance de Marché et Gestion des Risques
- Domaines de recherche et d'expertise :
  - *Modélisation des risques de marché et de crédit*
    - Mesure des risques (Value at Risk), corrélation et contagion des risques, impact des données boursières manquantes, construction de scénarios pour les stress-tests, les dynamiques de prix des actifs financiers
  - *Risques de contrepartie, infrastructures de marché*
    - Chambres de compensation, marges initiales, …

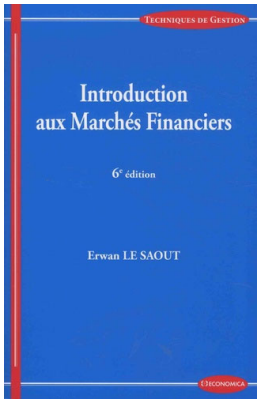
Organisation du cours : 4 parties

- Planning du S1



- Cours transversal au sein l'Ecole de Management de la Sorbonne
  - *Cours conçu pour les étudiants des différentes mentions ou parcours, finance, CGAO, IMT,*
  - *Mise à jour personnelle en probabilités et statistiques est utile !*
- Orientation du cours
  - *Connaître les techniques financières de calcul et de simulation*
    - Via les TD
  - *Sans négliger les concepts importants*
    - Diversification et rémunération du risques
    - Coût du capital, …

Organisation pratique : Prérequis pour le cours



- Pour ceux qui ne viennent pas de la L2 de l'EMS (et même pour ceux-ci !), la (re)lecture du livre d'Erwan Le Saout Introduction aux Marchés Financiers, 6e édition (chapitres 1, 4, 6, 7, 8, 9 et 10) est recommandée !
- En fait, l'intégralité du livre est à connaître, qu'il s'agisse du fonctionnement des principaux marchés, des mathématiques financières, de la modélisation financière, des corrélations entre rentabilités…

Prérequis pour le cours

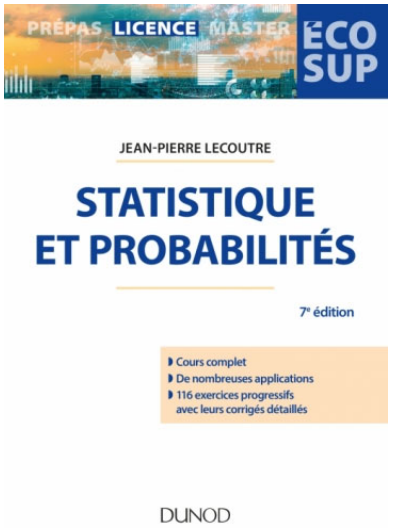
- Fonctionnement du marché, typologie des ordres
  - https://www.boursorama.com/pub/banque/nl/Les_ordres_de_Bourse-Le_Guide.pdf
  - https://www.amf-france.org/fr/espace-epargnants/comprendre-les-marches-financiers/les-ordres-de-bourse/choisir-et-passer-un-ordre-de-bourse-ce-quil-faut-savoir
  - https://www.boursorama.com/patrimoine/fiches-pratiques/achat-et-vente-d-actions-comprendre-le-carnet-d-ordres-5314a0a36ed786b4c2313edaf1c10d9d
  - http://esfcergy.free.fr/Coursbourse/Lesordresdebourse.htm
  - https://www.abcbourse.com/apprendre/2_les_ordres_de_bourse2.html
  - https://core.ac.uk/download/pdf/6428327.pdf

Organisation pratique : révisions de statistique : chaîne YouTube d'Eric Lombardot

Révisions et rappels de statistique : À connaître

- *Chapitre 3, probabilités conditionnelles*
  - https://www.youtube.com/watch?v=XKm7aty_8j4
- *Chapitre 4, variables aléatoires*
  - https://www.youtube.com/watch?v=HKufYL78BPM
    - Loi de probabilité, variable aléatoire, espérance mathématique, variance.
- *Chapitre 8, variance, écart-type et coefficient de variation*
  - https://www.youtube.com/watch?v=f5exdCG-46I
- *Chapitre 14, covariance (empirique)*
  - https://www.youtube.com/watch?v=9_509zdEUVk
- *Chapitre 15, coefficient de corrélation de Pearson (empirique)*
  - https://www.youtube.com/watch?v=ciqcsWqIHIQ
- *Chapitre 16, régression linéaire : méthode des moindres carrés*
  - https://www.youtube.com/watch?v=0Qb6mGozOVw

Organisation pratique : prérequis



Le livre de Jean-Pierre Lecoutre est disponible en ligne : se connecter via ENT/Domino, choisir la base ScholarVox, rechercher Jean-Pierre Lecoutre
http://univ.scholarvox.com/catalog/book/docid/88870385

Loi normale : pages 81 - 87

Prérequis (probabilités et statistiques)

- Extraits du livre de Jean-Pierre Lecoutre

Chapitre 1 Notion de probabilité 5

1. Modèle probabiliste 5
   - 1.1. Ensemble fondamental 5
   - 1.2. Algèbre et tribu d'événements 7
   - 1.3. Probabilité 9
2. Probabilités conditionnelles 13
3. Théorème de Bayes 15
4. Indépendance en probabilité 17

Prérequis (probabilités et statistiques)

- Extraits du livre de Jean-Pierre Lecoutre

ion non autorisée est un délit.

Chapitre 2 Variable aléatoire 35

1. Variable aléatoire réelle discrète 35
   - 1.1. Définition 35
   - 1.2. Loi de probabilité 36
   - 1.3. Fonction de répartition 37
   - 1.4. Moments d'une v.a. discrète 39

Chapitre 5 Loi empirique 145

1. Échantillon d'une loi 145
2. Moments empiriques 146
   - 2.1. Moyenne empirique 146
   - 2.2. Variance empirique 147
   - 2.3. Moments empiriques 148

Prérequis (probabilités et statistiques)

- Autres liens intéressants
  - *https://www.youtube.com/watch?v=4PAECijzQuo*

Probabilités : cours prépa HEC, BCPST, Maths Sup

Optimal Sup-Spé - Groupe IPESUP
242 k vues • il y a 8 ans

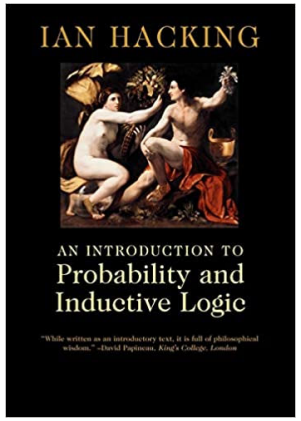
  - *https://www.youtube.com/watch?v=w_lQPSoA1wY*

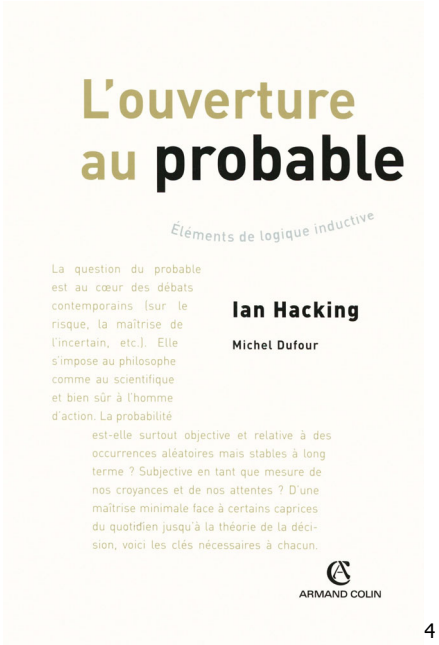
Variables aléatoires. Cours prépa

Optimal Sup-Spé - Groupe IPESUP
220 k vues • il y a 8 ans

En accompagnement du cours

- « L'ouverture au probable » de Hacking est en phase avec le cours
  - *Comprend aussi des exercices*





En accompagnement du cours

- Contenu du livre précédent

HOW TO CALCULATE PROBABILITIES

3 The Gambler's Fallacy
4 Elementary Probability Ideas
5 Conditional Probability
6 The Basic Rules of Probability
7 Bayes' Rule

KINDS OF PROBABILITY

11 What Do You Mean?
12 Theories about Probability

PROBABILITY AS A MEASURE OF BELIEF

13 Personal Probabilities
14 Coherence
15 Learning from Experience

PROBABILITY AS FREQUENCY

16 Stability
17 Normal Approximations
18 Significance and Power
19 Confidence and Inductive Behavior

PROBABILITY APPLIED TO PHILOSOPHY

20 The Philosophical Problem of Induction
21 Learning from Experience as an Evasion of the Problem of Induction
22 Inductive Behavior as an Evasion of the Problem of Induction

Un aparté sur les prérequis et les « révisions » en probabilités

- Il est fait dans ce cours appel à des notions de probabilité déjà vues au Lycée et dans le cycle L en Sciences de Gestion
- Les probabilités sont un domaine notoirement mal assimilé
  - *Pour de bonnes raisons*
  - *Axiomatique abstraite de Kolmogorov*
  - *Notions non définies d'expériences aléatoires, de tirage au hasard, issues du jeu de dés*
  - *Articulation entre théorie des probabilités et « modélisation » statistique*
  - …

En accompagnement du cours

- Pour une introduction et un résumé simple et non technique des concepts

Part Two: Risk

7 Introduction to Risk and Return

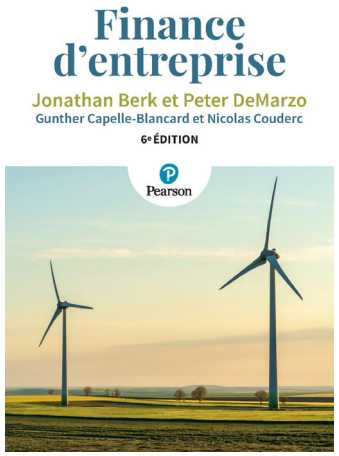
8 Portfolio Theory and the Capital Asset Pricing Model

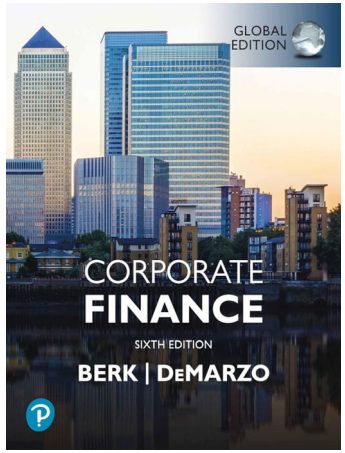
9 Risk and the Cost of Capital

Part Four: Financing Decisions and Market Efficiency

13 Efficient Markets and Behavioral Finance

En accompagnement du cours





En accompagnement du cours

- Corporate Finance, Berk & DeMarzo

PART 4 RISK AND RETURN 355

Chapter 10 Capital Markets and the Pricing of Risk 356
Chapter 11 Optimal Portfolio Choice and the Capital Asset Pricing Model 395
Chapter 12 Estimating the Cost of Capital 445
Chapter 13 Investor Behavior and Capital Market Efficiency 483

PART 5 CAPITAL STRUCTURE 525

Chapter 14 Capital Structure in a Perfect Market 526
Chapter 15 Debt and Taxes 555
Chapter 16 Financial Distress, Managerial Incentives, and Information 589

En accompagnement du cours

- Corporate Finance, Berk & DeMarzo, chapitre 10 : caractéristiques statistiques des rentabilités

PART 4 RISK AND RETURN 355

Chapter 10 Capital Markets and the Pricing of Risk 356

10.1 Risk and Return: Insights from 96 Years of Investor History 357
10.2 Common Measures of Risk and Return 360
Probability Distributions 360
Expected Return 360
Variance and Standard Deviation 361
10.3 Historical Returns of Stocks and Bonds 363
Computing Historical Returns 363
Average Annual Returns 365
The Variance and Volatility of Returns 367
Estimation Error: Using Past Returns to Predict the Future 368
■ Arithmetic Average Returns Versus Compound Annual Returns 370
10.4 The Historical Tradeoff Between Risk and Return 370
The Returns of Large Portfolios 371
The Returns of Individual Stocks 372
10.5 Common Versus Independent Risk 373
Theft Versus Earthquake Insurance: An Example 373
The Role of Diversification 374
10.6 Diversification in Stock Portfolios 375
Firm-Specific Versus Systematic Risk 376
No Arbitrage and the Risk Premium 377
■ FINANCE IN TIMES OF DISRUPTION Diversification Benefits During Market Crashes 379
■ COMMON MISTAKE A Fallacy of Long-Run Diversification 380
10.7 Measuring Systematic Risk 381
Identifying Systematic Risk: The Market Portfolio 381
Sensitivity to Systematic Risk: Beta 381
10.8 Beta and the Cost of Capital 384
Estimating the Risk Premium 384
■ COMMON MISTAKE Beta Versus Volatility 384
The Capital Asset Pricing Model 386

En accompagnement du cours

- Chapitre 11 : relation rentabilité / risque, choix de portefeuilles

Chapter 11 **Optimal Portfolio Choice and the Capital Asset Pricing Model 395**

11.1 The Expected Return of a Portfolio 396

11.2 The Volatility of a Two-Stock Portfolio 397
Combining Risks 397
Determining Covariance and Correlation 398
■ **COMMON MISTAKE** Computing Variance, Covariance, and Correlation in Excel 400
Computing a Portfolio's Variance and Volatility 401

11.3 The Volatility of a Large Portfolio 403
Large Portfolio Variance 403
Diversification with an Equally Weighted Portfolio 404
■ **INTERVIEW with** Anne Martin 406
Diversification with General Portfolios 407

11.4 Risk Versus Return: Choosing an Efficient Portfolio 407
Efficient Portfolios with Two Stocks 408
The Effect of Correlation 410
Short Sales 411
Efficient Portfolios with Many Stocks 412
■ **NOBEL PRIZE** Harry Markowitz and James Tobin 413

11.5 Risk-Free Saving and Borrowing 415
Investing in Risk-Free Securities 415
Borrowing and Buying Stocks on Margin 416
Identifying the Tangent Portfolio 417

11.6 The Efficient Portfolio and Required Returns 419
Portfolio Improvement: Beta and the Required Return 419
Expected Returns and the Efficient Portfolio 421

11.7 The Capital Asset Pricing Model 423
The CAPM Assumptions 423
Supply, Demand, and the Efficiency of the Market Portfolio 424
Optimal Investing: The Capital Market Line 424

11.8 Determining the Risk Premium 425
Market Risk and Beta 425
■ **NOBEL PRIZE** William Sharpe on the CAPM 427
The Security Market Line 428
Beta of a Portfolio 428
Summary of the Capital Asset Pricing Model 430

Key Points and Equations 430 ■ Key Terms 433 ■ Further Reading 433 ■ Problems 434 ■ Data Case 440

Appendix **The CAPM with Differing Interest Rates 442**
The Efficient Frontier with Differing Saving and Borrowing Rates 442
The Security Market Line with Differing Interest Rates 442

En accompagnement du cours : chapitre 12, calcul du coût du capital

Chapter 12 **Estimating the Cost of Capital 445**

12.1 The Equity Cost of Capital 446

12.2 The Market Portfolio 447
Constructing the Market Portfolio 447
Market Indexes 447
■ Value-Weighted Portfolios and Rebalancing 448
The Market Risk Premium 449

12.3 Beta Estimation 451
Using Historical Returns 451
Identifying the Best-Fitting Line 453
Using Linear Regression 454
■ Why Not Estimate Expected Returns Directly? 455

12.4 The Debt Cost of Capital 455
Debt Yields Versus Returns 455
■ **COMMON MISTAKE** Using the Debt Yield as Its Cost of Capital 456
Debt Betas 457

12.5 A Project's Cost of Capital 458
All-Equity Comparables 458
Levered Firms as Comparables 459
The Unlevered Cost of Capital 459
Industry Asset Betas 461

12.6 Project Risk Characteristics and Financing 463
Differences in Project Risk 463
■ **COMMON MISTAKE** Adjusting for Execution Risk 465
Financing and the Weighted Average Cost of Capital 465
■ **INTERVIEW with** Shelagh Glaser 466
■ **COMMON MISTAKE** Using a Single Cost of Capital in Multi-Divisional Firms 467

12.7 Final Thoughts on Using the CAPM 468

Key Points and Equations 469 ■ Key Terms 471 ■ Further Reading 471 ■ Problems 472 ■ Data Case 476

Appendix **Practical Considerations When Forecasting Beta 477**
Time Horizon 477
The Market Proxy 477
Beta Variation and Extrapolation 477
Outliers 478
■ **COMMON MISTAKE** Changing the Index to Improve the Fit 479
■ **USING EXCEL** Estimating Beta Using Excel 480

En accompagnement du cours : chapitre 13, choix d'investissement

Chapter 13 **Investor Behavior and Capital Market Efficiency 483**

13.1 Competition and Capital Markets 484
Identifying a Stock's Alpha 484
Profiting from Non-Zero Alpha Stocks 485

13.2 Information and Rational Expectations 486
Informed Versus Uninformed Investors 486
Rational Expectations 487

13.3 The Behavior of Individual Investors 488
Underdiversification and Portfolio Biases 488
Excessive Trading and Overconfidence 489
Individual Behavior and Market Prices 491

13.4 Systematic Trading Biases 491
Hanging on to Losers and the Disposition Effect 491
■ **NOBEL PRIZE** Prospect Theory, Mental Accounting, and Nudges 492
Investor Attention, Mood, and Experience 492
Herd Behavior 493
Implications of Behavioral Biases 493

13.5 The Efficiency of the Market Portfolio 494
Trading on News or Recommendations 494
■ **NOBEL PRIZE** The 2013 Prize: An Enigma? 496
The Performance of Fund Managers 496
The Winners and Losers 499

13.6 Style-Based Techniques and the Market Efficiency Debate 500
Size Effects 500
■ **INTERVIEW with** Jonathan Clements 502
Momentum 504
■ Market Efficiency and the Efficiency of the Market Portfolio 505
Implications of Positive-Alpha Trading Strategies 505

13.7 Multifactor Models of Risk 507
Using Factor Portfolios 507
Smart Beta 508
Long-Short Portfolios 508
Selecting the Portfolios 509
The Cost of Capital with Fama-French-Carhart Factor Specification 510

13.8 Methods Used in Practice 512
Financial Managers 512
Investors 513

En accompagnement du cours : chapitre 14, structure financière

PART 5 **CAPITAL STRUCTURE 525**

Chapter 14 **Capital Structure in a Perfect Market 526**

14.1 Equity Versus Debt Financing 527
Financing a Firm with Equity 527
Financing a Firm with Debt and Equity 528
The Effect of Leverage on Risk and Return 529

14.2 Modigliani-Miller I: Leverage, Arbitrage, and Firm Value 531
MM and the Law of One Price 531
Homemade Leverage 531
■ MM and the Real World 532
The Market Value Balance Sheet 533
Application: A Leveraged Recapitalization 534

14.3 Modigliani-Miller II: Leverage, Risk, and the Cost of Capital 536
Leverage and the Equity Cost of Capital 536
Capital Budgeting and the Weighted Average Cost of Capital 537
■ **COMMON MISTAKE** Is Debt Better Than Equity? 540
Computing the WACC with Multiple Securities 540
Levered and Unlevered Betas 540
■ **NOBEL PRIZE** Franco Modigliani and Merton Miller 542

14.4 Capital Structure Fallacies 543
Leverage and Earnings per Share 543
■ **FINANCE IN TIMES OF DISRUPTION** Bank Capital Regulation and the ROE Fallacy 545
Equity Issuances and Dilution 546

14.5 MM: Beyond the Propositions 547

En accompagnement du cours

- Voir sommaire du livre pour les chapitres sur l'avantage fiscal de l'endettement, les coûts de la détresse financière, la théorie du compromis, …

Organisation pratique

- Le cours s'inspire
  - *des pratiques professionnelles et de l'actualité financière*
  - *des développements académiques (robustesse des modèles statistiques, machine learning, finance comportementale)*
- Structure type d'une séance en amphithéâtre
  - *Trois temps de cours*
  - *A chaque temps de cours, une thématique précise et des transparents associés*
  - *Pour certaines séances, un ou des temps consacrés à des exercices (préparation au partiel et aux CC)*
  - *Pause intermédiaire*

Organisation pratique

- Équipe pédagogique pour les travaux dirigés
  - *Composée de docteurs ou de doctorants en finance, enseignant à Paris 1 et de professionnels de la finance*
- TD : 11 séances, débutant la semaine du 20 septembre ou la suivante
  - *Objectifs des Travaux Dirigés*
    - Savoir appliquer les concepts vus en cours
    - Savoir maîtriser les techniques et calculs financiers
  - *Brefs rappels de cours, exercices à préparer : bonus de participation, 2 points en fonction de la participation*
  - *1 contrôle continu*
    - L'assiduité aux TD est obligatoire. L'absence à plus de trois TD entraine automatiquement la défaillance au partiel correspondant.

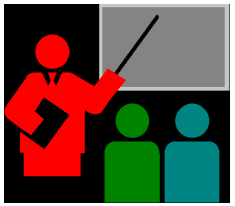
Les thèmes de TD sont à télécharger sur le site du cours et pourront être actualisés

http://laurent.jeanpaul.free.fr/Enseignement/cours%20de%20gestion%20financi%E8re%20%E9cole%20de%20management%20de%20la%20Sorbonne.html

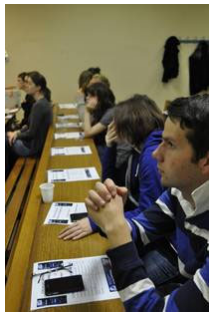
TRAVAUX DIRIGES

- Thème 1 **Stratégies boursières et probabilités (pour le TD1, préparer les quatre premiers exercices)**
- Thème 2 **Fonds de placement, information**
- Thème 3 **Stratégies de placement, information (mise à jour le 5/11/23)**
- Thème 4 **Choix de portefeuille**
- Thème 5 **Droite caractéristique, coût du capital**
- Thème 6 **Diversification du risque, allocation de portefeuilles** - Thème 6 : éléments de corrigé
- Thème 7 (révisions) Thème 7 (corrigés)

Organisation des travaux dirigés



- *Les TD sont à télécharger sur le site du cours*
- *Possibles modifications (mineures) à venir*



- *Utilisation d'Excel : vous avez accès à Excel for Education avec votre e-mail et vos identifiants Paris 1*

- *Contrôle continu : à définir, en général en semaine 9 ou 10.*

UNIVERSITÉ PARIS 1
PANTHÉON SORBONNE

Fil conducteur du cours: décision d'investissement

banca, comptoir de change

- Du **point de vue des investisseurs externes à l'entreprise**
  - *Actionnaires*
  - *Est-il opportun d'acheter des titres émis par l'entreprise ?*
    - Quelle rentabilité attendre des actions ?
  - *Comment combiner ces titres ?*
    - Diversification du risque
- Du **point de vue de l'entreprise**
  - *Dirigeants, directions financières*
  - *Investissement, évaluation d'entreprise*
    - Flux de trésorerie prévisionnels
    - Choix du taux d'actualisation

Bricks and mortar

Organisation du cours : 4 parties

- Introduction à la dynamique des prix des actifs (4 séances)
  - *Négociation de titres, information et prévision*
  - *Aléatoire et finance*
  - *Traitement de l'information financière*
- Relation entre rentabilité espérée et risque (3 séances)
  - *Frontière efficiente, Capital Market Line*
  - *Rentabilités espérées, Risque, Diversification, Betas, Médaf*
  - *Validation et utilisation du Médaf, Primes de Risque*
- Décision d'investissement (2 séances)
  - *Choix d'investissement : VAN, TRI et VAR*
  - *Efficience informationnelle et évaluation des actions*
  - *Finance comportementale et décision d'investissement*
- Finance d'entreprise (2 séances)
  - *Analyse économique et finance d'entreprise, Structure financière de l'entreprise*
  - *Coût Moyen Pondéré du Capital,*
  - *Valeurs économiques et comptables des actifs et des passifs*
  - *Théorie du compromis et du financement hiérarchisé*

Organisation du cours : 4 parties

Cours et calendrier prévisionnel indicatif

- 22 et 29 septembre 2023 Présentation du cours, Négociation de titres, information et prévision (maj 29 septembre)
- 29 septembre et 6 octobre 2023 Aléatoire et finance
- 13 octobre 2023 Traitement de l'information financière, Exercices corrigés
- 20 octobre 2023 Frontière efficiente, Capital Market Line, Exercices corrigés (allocation de portefeuille), Ventes à découvert
- 27 octobre 2023 Rentabilités espérées, Risque, Diversification, Betas, Médaf
- 10 novembre 2023 Validation et utilisation du Médaf, Primes de Risque, Exercices (Bêtas, SML)
- 17, 24 novembre 2023 Efficience informationnelle et évaluation des actions, Exercices complémentaires divers, Finance comportementale et décision d'investissement
- 1er, 8 décembre 2023 Analyse économique et finance d'entreprise, Structure financière de l'entreprise (Modigliani Miller), Choix d'investissement : VAN, TRI et VAR
- 15, 22 décembre 2023 Coût Moyen Pondéré du Capital + exercices corrigés, Valeurs économiques et comptables des actifs et des passif (maj 15 décembre), Théorie du compromis et du financement hiérarchisé

- Après le cours.
  - *Année de césure ? Stages …*
  - *Parcours de M2 de l'Ecole de Management de la Sorbonne*
  - *Liés à la mention finance*
    - Gestion Financière et Fiscale
    - Finance de Marché et Gestion des Risques
    - Ingénierie Financière
    - Finance et Asset Management
  - *Et aux autres mentions Economie de l'Entreprise et des Marchés, Contrôle de Gestion et Audit Organisationnel, Management de l'Innovation.*

UNIVERSITÉ PARIS 1 PANTHÉON SORBONNE

AGS Amicale Gestion Sorbonne

Remarques introductives : information, fluctuations exogènes et endogènes des cours

- Considérons un historique de l'indice CAC 40
  - $p_{t-H}, \dots, p_t$
  - t : *date courante*
  - *Périodicité quotidienne, hebdomadaire, …*
- On peut procéder à des analyses statistiques décrivant le comportement des données passées
  - *Calcul de moyennes de rentabilités, d'écarts-types*
  - *Coefficients d'autocorrélation*
  - *On va chercher à repérer des caractéristiques, comme la présence de tendances, l'amplitude des fluctuations, est-ce qu'une hausse tend à être suivie d'une baisse.*
  - *On peut s'interroger sur la nature et les déterminants éventuels des modifications des prix : arrivée de nouvelles informations spécifiques aux sociétés composant l'indice, changement de politique monétaire ?*

Remarques introductives : information, fluctuations exogènes et endogènes des cours

- Une idée courante : des informations allant dans le sens de l'augmentation des dividendes, du cash-flow distribuable vont dans le sens de l'appréciation des cours
- Une appréciation plus favorable des investisseurs va se traduire par des ordres à cours limité plus élevé et une augmentation des cours.
- Appréciation des investisseurs : « sentiment de marché », état d'esprit
- L'opinion des investisseurs découle de la manière dont les informations sont traitées, les nouvelles analysées
- Caractère performatif des évaluations des analystes financiers
- Mécanique de type causal : information → modifications des prix

Remarques introductives : information, fluctuations exogènes et endogènes des cours

- En sens inverse, des ventes d'un investisseur, non motivées par des informations négatives, mais par des besoins de liquidité
- Ou des ventes dans le but de manipuler les cours
- Vont avoir un impact dépressif sur les cours (price impact), par la mécanique du carnet d'ordres.
- Possibilité d'effets en cascade, « herd effect », boucles amplificatrices du fait de mécanismes de stop-loss
- Volatilité dite endogène du marché, par opposition à la volatilité exogène due à l'arrivée de nouvelles informations.

Notion d'efficience informationnelle

- Notions d'efficience : si les marchés sont compétitifs, il sera difficile de réaliser des gains par des stratégies de trading
  - *Il n'y a pas de « repas gratuit » (free-lunch) en finance.*
- Si une information favorable vient à être connue des investisseurs, elle se traduit immédiatement par une augmentation des prix, dont l'amplitude est reliée au caractère plus ou moins favorable de l'information.
- Seules les nouvelles informations, c'est-à-dire les informations qui n'étaient pas déjà connues, devraient donc avoir un impact sur les prix.
- Implications : faible niveau d'autocorrélation des rentabilités
- Implications testables : observe-t-on des rentabilités anormales autour de l'annonce d'événements (OPA, …) ?

Notion d'efficience informationnelle, prévision et régularités

- Reprenons notre canevas, impliquant l'observation des données : $p_{t-H}, \dots, p_t$
- Supposons que l'on ait observé une alternance systématique de hausses et des baisses de cours : $BHBHBHBH$
- On a ainsi repéré une régularité ou encore une règle qui permet d'obtenir le mouvement suivant sachant le mouvement précédent, dans l'historique des données
  - *Marchés dits contrarian*
- La question qui se pose alors dans quelle mesure cette règle continuera à être valide dans le futur.
- On dit que l'on projette la règle dans le futur.
- Ceci donne une connaissance supplémentaire à celle de l'observation passée

Notion d'efficience informationnelle, prévision et régularités

- Le raisonnement qui étend (projet) une règle déterminée sur un ensemble de données à un ensemble plus grand de données
  - *Par exemple des données futures, des données non encore observées*
- Est l'induction. Permet un accroissement de la connaissance
  - *Ampliatif : qui amplifie, qui ajoute quelque chose*
- Les méthodes d'apprentissage statistique (machine learning) reposent sur l'induction.
- Un problème théorique : pluralité de règles projetables
  - *Considérons la suite de données :* 1357
  - *On peut la prolonger par* 9 *si c'est le début de la suite des impairs*
  - *Par* 11 *si c'est le début de la suite des nombres premiers*
- Limites théoriques, pratiques de la méthode inductive en finance ?

Notion d'efficience informationnelle, prévision et futurs possibles

- Prévoir ?
- Continuer une série de nombres $p_{t-H}, \dots, p_t, p_{t+1}, p_{t+2}, \dots$
- À partir d'une règle ou d'un algorithme
- En présence de marchés efficients, impossibilité de prévoir
- Reprenons le cas précédent $BHBHBHBHB$ ou $BHBHBHBHH$
- Si on pouvait poursuivre la régularité, on aurait une stratégie gagnante (free-lunch)
- Le problème précédent a la même structure que celui des futurs contingents d'Aristote
- Aristote prend, à titre d'exemple, l'avènement d'une bataille navale demain

Des futurs possibles

- Pour Aristote, il est possible, mais non nécessaire qu'il y ait une bataille navale demain
- Aujourd'hui, il n'est pas possible d'établir la vérité ou la fausseté d'une prévision relative à l'avènement d'une bataille navale
- On peut transposer cette analyse à l'occurrence d'une hausse ou d'une baisse des cours de l'indice CAC40
- Pour Aristote, le futur est ouvert : il y a plusieurs « possibles »
- Parmi ces possibles, un seul se réalisera
- La perspective d'Aristote sur les futurs possibles est celle qui prévaut parmi les financiers.

Des futurs possibles

- Pour d'autres philosophes grecs (Euclide de Mégare, Diodore Cronos), la conception du possible est très différente.
- Il est nécessaire que le possible se réalise.
- Reprenons notre exemple $BHBHBHBHB$ ou $BHBHBHBHH$
- Supposons que l'on observe demain une hausse, soit le pattern $BHBHBHBHH$
- Le pattern $BHBHBHBHB$ est vu comme impossible
- La prévision $BHBHBHBHB$ a toujours été fausse
- Seul le pattern $BHBHBHBHH$

Prévision des cours boursiers ?

- Reprenons notre exemple didactique.
- On suppose que la chronique des variations de cours jusqu'à la date courante est $BHBHBHBH$
- On peut induire de cette observation une règle d'alternance
- Et supposer que l'alternance de hausses et de baisses se poursuivra.
- Une règle ou un algorithme est une manière de générer de nouvelles données.
- Prévoir devient alors trouver la règle qui permet de générer les cours boursiers (data generating process).
- Dans l'exemple précédent, la règle est très simple : après chaque variation, générer une variation en sens inverse
- Complexité algorithmique minimale.

Prévision des cours boursiers ?

- Supposons maintenant que l'on observe l'évolution des cours boursiers pendant 4 jours supplémentaires
- $BHBHBHBHBHBH$
- Tout ce qu'on peut dire c'est que les 4 données supplémentaires n'invalident pas la règle de l'alternance.
- Les tenants de la « logique inductive » et de la « théorie bayésienne de la confirmation » tendent à penser que cela accroît la crédibilité de la règle.
- Mais il s'agit d'une tendance psychologique (pas forcément sans fondement), plutôt que de science.
- En effet, la seule manière de savoir si la règle générant les données reste valide est d'attendre son invalidation éventuelle.

Prévision des cours boursiers ?

- Retour sur la pluralité des règles de prévision compatibles avec un historique de cours donnés
- Hume, Goodman, Kripke, Quine, Hacking, Kolmogorov
- Reprenons notre historique : $BHBHBHBHBHBH$
- Supposons $BHBHBHBHBHBHH$
- L'historique $BHBHBHBHBHBH$ est compatible avec (au moins) deux règles
  - *Alterner hausses et baisses*
  - *Alterner hausses et baisses 12 fois et générer une hausse à la 13 fois.*
- Pourquoi devrait-on choisir la règle 1 (projeter la règle 1) ?
  - *Elle semble plus simple, moins complexe, plus facile à énoncer.*
  - *La règle 2 donne l'impression d'une disruption*

Prévision des cours boursiers ?

- Pourquoi devrait-on choisir la règle 1 (projeter la règle 1) ?
  - *Elle semble plus simple, moins complexe, plus facile à énoncer.*
  - *La règle 2 donne l'impression d'une disruption*
- Prévoir les cours boursiers à partir d'une règle simple est contre-intuitif : argument du no free-lunch.
- La règle 2 donne l'impression d'une disruption
  - *Imaginons que la dynamique du marché s'obtienne par concaténation de blocs : $BHBHBHBHBHBHH$, $BHBHBHBHBHBHH$*
  - *La disruption disparaît et la régularité apparaît*
  - *Supposons en outre que l'on code $BHBHBHBHBHBH$ par Z, la dynamique sur deux cycles s'écrit $ZHZH$ au lieu de $BHBHBHBHBHBHHBHBHBHBHBHBHH$*
  - *$ZHZH$: Tout aussi régulier, simple et compact que la règle 1*
- Pas de raison autre que psychologique de préférer la règle 1

Prévision des cours boursiers ?

- Remarque : en termes de codage informatique, le marché boursier suivant la règle 1 est codé par répéter BH, pour la règle 2, par répéter ZH.
- Que pourraient dire les défenseurs de la règle 1 ?
- Z est plus complexe que B, la règle ZH est donc plus complexe que la règle BH
- Mais ceci est à nouveau purement illusoire et lié à la manière dont les données sont encodées.
- Considérons un monde dont les patterns de base sont Z et H
- Essayez donc de coder B à partir de Z et H !
- Il n'y a pas de raison logique de préférer la règle 1 à la règle 2

Prévision des cours boursiers ?

- Hume a été le premier à établir qu'il y avait un problème de circularité dans la « justification » de la logique inductive
- Goodman et Hacking ont mis l'accent sur le fait qu'on ne pouvait logiquement préférer une règle inductive à une autre
- La multiplicité de règles compatibles avec un ensemble d'observations a été mise en avant par Kripke et par Quine
- Quine : thèse de la sous-détermination
  - *pour toute théorie, «(...) il en existe une autre qui est empiriquement équivalente mais logiquement incompatible avec celle-ci*

Prévisions des cours boursiers : de l'invalidation d'une règle

- Reprenons notre exemple : supposons que dans, disons 89 cas sur 90 $BHBHBHBHBHBH$ est suivi par B et par H dans seulement 1 cas sur 90.
- Un cas unique suffit à invalider la règle.
- Néanmoins, d'un point de vue pragmatique, il semble que la règle reste valide (dans l'échantillon) presque tout le temps
- Et que l'on serait fondé à parier sur une baisse après l'apparition du pattern $BHBHBHBHBHBH$
- La règle précédente va permettre de prévoir approximativement les données futures
- Le générateur de données futures est entaché d'erreurs de prévisions.

De l'invalidation d'une règle à la génération de scénarios

- L'objectif est alors de trouver un générateur avec peu d'erreurs de prévision
- Pour les mêmes raisons que précédemment (absence de free-lunch), on n'a pas trouvé quelque chose de ce type.
- On est alors amené à changer de perspective sur les cours boursiers futurs.
- Au lieu de chercher à prévoir des trajectoires exactes des cours boursiers futurs, on va chercher à produire des trajectoires qui sont similaires à celles observées dans le passé
- Trajectoires qui ont des propriétés statistiques similaires à celles déjà observées

De l'invalidation d'une règle à la génération de scénarios

- On suppose qu'il y a un visage inconnu (donc non observé) derrière une porte
- On ne dispose pas d'information nous donnant des caractéristiques de cet individu.
- Plutôt que de chercher à deviner en vain quel serait le visage derrière la porte
- On peut choisir au hasard un visage parmi une base de données de visages
- Ou bien générer un nouveau visage à partir de la base d'apprentissage précédente.
- Ce qui est important, c'est que le visage soit plausible

Prévoir le futur à partir du passé

La question est bien sûr la suivante : est-ce ces relations entre données passées et futures sont *fortuites* ou sont-elles *significatives* ?

Prévoir le futur à partir du passé

- Fonction indicatrice de hausse du prix :
  - $I_t = 1$ *si* $P_t - P_{t-1} > 0$
  - $I_t = 0$ *si* $P_t - P_{t-1} \leq 0$
- Une chronique de hausses et de baisses est donc représentée par une suite binaire du type 1010001011
  - *Ici, pour simplifier l'analyse, on ne prend pas en compte l'amplitude des hausses ou des baisses*
  - *Dans le cadre du HFT (High Frequency Trading), les prix ne varient pas plus que d'un échelon de cotation (tick)*
- Supposons que les 10 dernières variations de prix à la hausse ou la baisse soient représentées par 1010001011
- Prévoir à partir de ces observations revient à compléter cette suite : 10100010111 ou 10100010110

Prévoir le futur à partir du passé

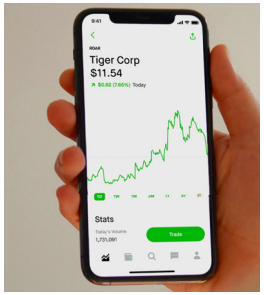
- Prévoir à partir des ces observations revient à compléter cette suite : 10100010111 ou 10100010110
- Dans cet exemple, ce qui sert à prévoir (information disponible, inputs pour la prévision) se limite à la connaissance des hausses ou baisses du titre risqué pour les dix dernières transactions.
- Si l'on pense que les variations de prix d'un autre actif précèdent celui qui nous intéresse (phénomène lead-lag), on peut inclure ces variations dans l'ensemble des informations pertinentes
- 1010001011
  0100010110 la seconde ligne représente ici les variations de prix de l'actif lead

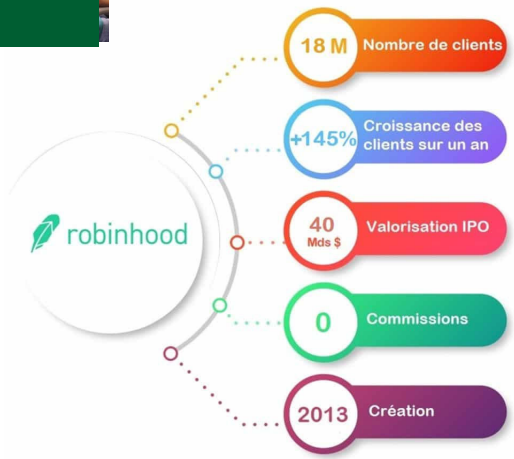
Prévoir le futur à partir du passé

- Considérons la représentation binaire (en base 2) d'un nombre : 11010 ... (suite infinie de 1 et de 0)
  - *En finance,* 1 *(hit) si hausse des prix,* 0 *si baisse*
- « Machine learning » : prévoir à partir de données en repérant des **« patterns » (motifs) répétitifs**
  - *Exemple : les suites périodiques répètent un même motif.*
  - *La suite* 1010101010 *est une répétition du motif* 10.
    - La fréquence des 0 et des 1 est égale à $\frac{1}{2}$: il y a autant de hausses que de baisses
  - ***Mais** on peut gagner à tous les coups, en vendant après une hausse et en achetant après une baisse : stratégie « contrarian »*

Prévoir le futur à partir du passé

- L'information qui peut être utilisée pour la prévision peut être de nature financière et comptable, annonces de résultats, notes d'analystes financiers, …
  - Voir la suite des transparents à propos du rôle des analystes financiers.
- L'information peut provenir de l'analyse textuelle - des tweets ou des discussions sur les forums en ligne, notamment reddit
  - https://www.reddit.com/r/RobinHood/
  - *RobinHood est un acteur majeur du brokerage en ligne à prix cassés*





Utilisation d'informations textuelles

- **Social media**
- **Natural language processing**
- **Machine Learning**
- **Sentiment analysis (état d'esprit des investisseurs)**

Natural Language ToolKit

python

Probability and Statistics
for Data Science & Machine Learning

Heart and Mind: Sentiment analysis in R

Comment prévoir le futur à partir du passé

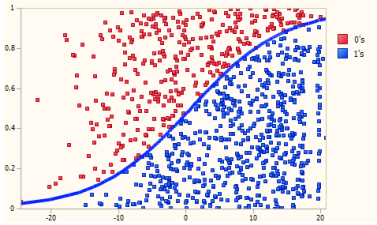
- Idée de base du machine learning
- Soit le motif (pattern, feature) 1010001011, on recherche une **fonction** qui dont l'entrée (input) est ce motif
  - *Ici un nombre codé sur 10 bits*
- Et la sortie (output) est soit 1 soit 0.
  - *On a utilisé le terme « fonction » – l'entrée est une **variable**.*
  - *On aurait pu utiliser le terme **programme** ou algorithme.*
- Dans notre exemple, il y a $2^{10} = 1024$ entrées possibles
- Pour **calibrer** la fonction, on a une base d'apprentissage, constituée de motifs sur 11 jours.
- On va rechercher les motifs identiques (ou proches) de 1010001011

Comment prévoir le futur à partir du passé

- Pour les motifs identiques à 1010001011, on va examiner si le successeur est un 1 ou si c'est un 0
- On peut aussi voir ce problème de prévision, comme une classification (voir infra)
  - *Pour un motif donné, on veut savoir s'il est suivi d'une hausse ou d'une baisse*
  - *Deux classes : les antécédents d'une hausse et les antécédents d'une baisse*
- Il s'agit d'apprentissage supervisé : on indique ce qui doit être prévu (hausse ou baisse) dans l'échantillon de données « historique » (base d'apprentissage)

Comment prévoir le futur à partir du passé ?

- Classification binaire : chaque point est associé à un motif de variation des cours observé



  - *Si un motif est en bleu, il est suivi d'une hausse (attribution à la classe des hausses)*
  - *En rouge, le motif est suivi d'une baisse (attribution à la classe des baisses)*
- Ici tout fonctionne bien, la zone des points bleus et celle des points rouges sont bien dissociées : prévision parfaite
  - *Décision optimale : achat si motif bleu, vente si motif rouge*

Comment prévoir le futur à partir du passé : difficultés théoriques et pratiques

- Cela a à voir notamment avec (la nature du problème considéré) le nombre d'observations dans la base d'apprentissage et le nombre possible d'entrées
- Exemple précédent : on se sert des dix dernières observations de hausse ou baisse pour la prévision, soit $2^{10} = 1024 \approx 10^3$ antécédents (entrées) possibles
- Supposons que l'on ait 10^5 éléments dans la base d'apprentissage.
- On aura (en moyenne) $10^5/10^3 = 100$ observations / cas.
- Pour un motif donné, si toutes ces 100 observations sont suivies d'une hausse (ou bien d'une baisse), on prédira une hausse (pour ce motif)

Comment prévoir le futur à partir du passé ?

- Considérons à nouveau ce qui suit le motif 1010001011
  - *Supposons qu'il y a* 500 *occurrences de ce motif dans la base d'apprentissage*
  - *Si elles sont suivies d'un* 1 *(hausse), on sera conduit à prédire qu'une nouvelle occurrence du motif, sera suivie d'une hausse.*
  - *Si elles sont toutes suivies d'un* 0 *(baisse), on prédira une baisse*
    - Nous discuterons de la validité de ces inférences dites par induction …
    - généralisation de la base d'apprentissage à l'ensemble des situations non encore observées
  - *Induction probable : si* 495 *occurrences sur* 500 *sont suivies d'une hausse, on aura tendance à prévoir également une hausse :*
    - $\frac{495}{500} = 99\%$: fréquence conditionnelle d'apparition de 1 après 1010001011.
    - 99% est proche de 1
    - 1% : fréquence conditionnelle d'apparition de 0 après 1010001011.

Comment prévoir le futur à partir du passé ?

- Considérons à nouveau ce qui suit le motif 1010001011
  - *Il y a* 500 *occurrences de ce motif dans la base d'apprentissage*
- Prédictions imparfaites dans l'échantillon
  - *Quelle prédiction faire si la fréquence conditionnelle d'apparition de* 1*, après le motif précédent est de* 56% *?*
    - Dans l'échantillon, le motif 1010001011 est plus souvent suivi d'une hausse 1 que d'une baisse.
    - Mais est-ce que l'écart 56% contre 44% est suffisant pour l'on décide d'acheter (anticipant une hausse) ?
  - *Quel serait le seuil (en termes de fréquences) à partir duquel on devrait acheter ?*
  - *Est-ce qu'adopter la* ***règle majoritaire*** *(acheter dès que la fréquence conditionnelle est* $> 50\%$*) est une stratégie pertinente ?*

Comment prévoir le futur à partir du passé ?

- Distance de Hamming entre deux motifs (voir exercices corrigés)
  - Hamming, Intro to The Art of Doing Science and Engineering: Learning to Learn (March 28, 1995)
    - https://www.youtube.com/watch?v=AD4b-52jtos&list=PL2FF649D0C4407B30
  - *Considérons deux motifs de hausses et de baisses*
    - 1010001011
    - 1111000011
- La distance de Hamming est ici de 3 : Nombre de cas (dates) où hausses et baisses ne coïncident pas
- Distance de Hamming nulle : deux motifs identiques
- Distance de Hamming faible : deux motifs proches.

Comment prévoir le futur à partir du passé ? méthode des k – plus proches voisins (introduction)

- Le problème des petits échantillons
  - *Supposons maintenant qu'il y ait* 2 *occurrences* 1010001011 *suivies de* 1 *et aucune suivie de* 0*, dans la base d'apprentissage*
  - *La fréquence conditionnelle d'apparition d'une hausse est de* 100%*, mais la robustesse de la prévision est faible*
- Que se passe-t-il dans le cas précédent ou si un nouveau motif n'a pas été observé dans la base d'apprentissage ?
  - *Une idée est de considérer des motifs proches, par exemple, des motifs dont la distance de Hamming avec le nouveau motif est inférieure ou égale à* 1
    - C'est-à-dire des motifs qui ne différent du motif qui apparaît que d'au plus pour une date.
  - *L'hypothèse qui est faite ici est que des prémisses proches ont les mêmes conséquences (pas de disruption)*

Comment prévoir le futur à partir du passé ? méthode des k – plus proches voisins (introduction)

- Le problème des petits échantillons (suite)
  - *Quand la taille de l'échantillon (nombre de motifs observés) diminue, il y aura davantage de motifs qui n'auront que pas ou trop peu de voisins*
  - *Pour que l'on fasse une prédiction quelconque et donc que l'on puisse décider d'acheter ou de vendre.*
- La taille de l'échantillon est à mettre en rapport avec la longueur des motifs
  - *Supposons que l'on ait 1000 observations*
  - *Si motifs de longueur 3, en moyenne 125 observations par motif*
  - *Si motifs de longueur 10, en moyenne 1 observation par motif*
  - *Si motifs de longueur 15, en moyenne 30 motifs pour 1 observation*

Comment prévoir le futur à partir du passé

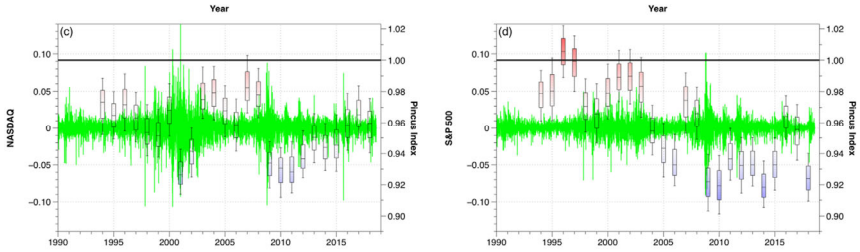
- Apprentissage statistique / réseaux de neurones
- On utilise une base d'apprentissage
- Ensemble d'observations du type $HBHHBHBBBHHBHBH$ (ici des patterns de taille 15) suivies de H ou bien B
- La calibration du réseau de neurones va permettre de construire une fonction qui à tout pattern de taille 15 va associer une prédiction H ou bien B
  - *Il y a* $2^{15} = 32768$ *patterns de taille 15*
  - *Supposons que nous ayons* 1000 *patterns dans la base d'apprentissage*
- Le réseau fournit une prévision pour tout pattern qui apparaît.
- En itérant, on construit une trajectoire : data generating process (déterministe)

Comment générer des trajectoires de prix

- Évaluation de la performance d'un réseau de neurones ?
- Par comparaison à d'autres règles de prévision
- Règle de prévision déterministe élémentaire : prévision constante, toujours une hausse ou toujours une baisse
  - *Autres règles naïves : prévoir une hausse après une baisse et vice versa*
- Ratio de prévisions justes / prévisions fausses ?
- De l'ordre de 1 avec un réseau de neurones, de l'ordre de 1 avec les règles de prévision naïves
  - *On se trompe une fois sur deux : valeur prédictive nulle…*

Comment prévoir le futur à partir du passé ? Évolution du degré de prévisibilité

- *L'indice de Pincus a été considéré dans l'article suivant :*
  - Delgado-Bonal (2019). Quantifying the randomness of the stock markets. Scientific reports, Nature.



- ***Une faible valeur de l'indice est associée à des répétitions plus fréquentes des motifs : marchés plus prévisibles***
- *Évolution de l'indice pour le Nasdaq et le S&P500 :graphique ba – chart échelle de droite*
- *On remarque des* ***fluctuations de la prévisibilité*** *(mesurée par l'indice de Pincus).*

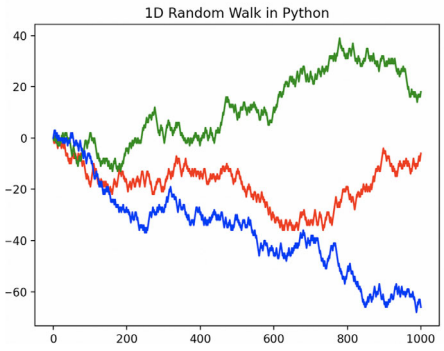
Comment générer des trajectoires de prix

- Supposons que l'on fasse des tirages « aléatoires »
- On lance une pièce. Si elle retombe sur pile, on prévoit une hausse, si elle retombe sur face on prévoit une baisse
- On peut ainsi générer des trajectoires de prix
- C'est un « data generating process » stochastique
- Une autre manière de formuler l'approche précédente :
  - *Variable aléatoire de Bernoulli : prend la valeur* 1 *avec probabilité* p *et* 0 *avec* $1-p$.
  - *Prenons* $p = 1/2$.
  - *Effectuer des simulations des variables de Bernoulli*
  - *Si on obtient* 1, *on prévoit une hausse, si on obtient* 0, *on prévoit une baisse*

Comment générer des trajectoires de prix

```python
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import random

def randomwalk1D(n):
    x, y = 0, 0

    # Generate the time points [1, 2, 3, ... , n]
    timepoints = np.arange(n + 1)
    positions = [y]

    directions = ["UP", "DOWN"]
    for i in range(1, n + 1):

        # Randomly select either UP or DOWN
        step = random.choice(directions)

        # Move the object up or down
        if step == "UP":
            y += 1
        elif step == "DOWN":
            y -= 1

        # Keep track of the positions
        positions.append(y)

    return timepoints, positions
```

```python
time_data, pos_data = randomwalk1D(1000)

plt.plot(time_data, pos_data, 'r-')
plt.title("1D Random Walk in Python")
plt.show()
```

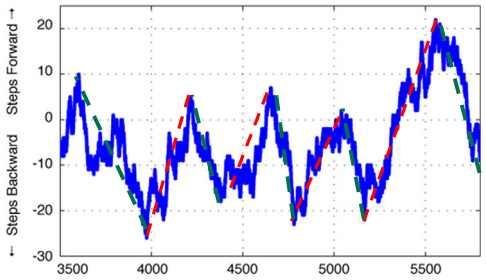


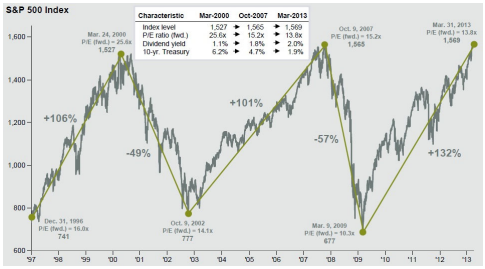
Comment générer des trajectoires de prix

- Qualité de la prévision ?
- Ratio de prévisions justes / prévisions fausses ?
- Toujours de l'ordre de 1 (aussi mauvais qu'une prévision déterministe)
- Mais ce qui nous intéresse, c'est la capacité d'un modèle probabiliste à générer des trajectoires de prix qui ressemblent à celles qui sont observées.
- Il est logique qu'un modèle probabiliste permette de générer des trajectoires de prix d'actifs réalistes
- Car aléatoire est associé à non prévisible et les cours sur les marchés financiers sont non prévisibles (no free-lunch)

Marches aléatoires

- Le graphique de gauche montre l'évolution de la richesse en jouant à pile ou face (gain de +/- un euro) : marche aléatoire





- Le graphique de droite représente l'évolution de la richesse d'un actionnaire américain entre 2007 et 2013
- Si l'hypothèse de marche aléatoire est valide
- On remarque les similitudes entre les deux graphiques

Marches aléatoires, marchés contrarian, momentum et apprentissage statistique

- On considère trois types de marché
  - Les probabilités de hausse ou de baisse sont supposées ne dépendre que du dernier mouvement des prix (propriété dite de Markov)
  - *Marche aléatoire* $P(H|H) = P(B|B) = 0{,}5$
  - *Marché momentum* $P(H|H) = P(B|B) = 0{,}55$
  - *Marché contrarian* $P(H|H) = P(B|B) = 0{,}45$
- On simule 10000 trajectoires de 20 mouvements pour chacune des trois probabilités
- Calibrer un réseau de neurones = déterminer une fonction de l'ensemble des trajectoires (ici de cardinal 2^{20}) dans l'ensemble des paramètres possibles $(0{,}45; 0{,}5; 0{,}55)$
- Ceci permet de classifier toute nouvelle trajectoire et éventuellement de parier à la hausse ou à la baisse
- On est passé de la prévision d'une valeur à celle d'une probabilité

A propos du transparent précédent (similitudes entre marches aléatoires et évolution des prix des actions.

32 For example, Malkiel (1973) discusses an experiment in which students were asked to generate returns by tossing fair coins, which yielded observations that were apparently indistinguishable from market returns (p. 143). Kroll, Levy, and Rapoport (1988) conduct an experiment of a portfolio selection problem, where 40 subjects are asked to choose between two assets whose returns are sampled randomly and independently from normal distributions, and given the option of viewing the assets' past return series. The authors find that "even in the extreme case of our experiment, where the subjects were instructed and could actually verify that the stock price changes were random, many of them still developed, maintained for a while, discarded, and generated new hypothesis about nonexistent trends" (p. 409). The same conclusions are reached by De Bondt (1993), who in a series of experiments about forecasting stock prices and exchange rates, including what he calls a "technical analysis game," finds that "people are prone to discover 'trends' in past prices and to expect their continuation," even when "stock prices changes are highly unpredictable" as is the case over short horizons (p. 357). Similar experiments were reported in Roberts (1959), Keogh and Kasetty (2003), and Swedroe (2005), and summarized in Warneryd (2001).

Marches aléatoires, imprévisibilité

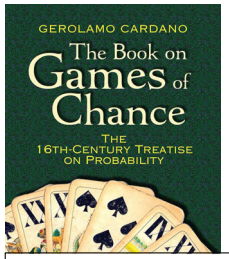
- Extrait du livre « the evolution of technical analysis »

> The most fundamental principle of all in gambling is simply equal conditions, e.g., of opponents, of bystanders, of money, of situation, of the dice box, and of the die itself. To the extent to which you depart from that equality, if it is in your opponent's favour, you are a fool, and if in your own, you are unjust.[1]
>
> This notion of a "fair game," a gamble that is neither in your favor nor your opponent's, has the interesting implication that the best forecast of either party's total wealth tomorrow is simply equal to today's total wealth, which sounds a lot like the EMH.

  - *En jaune, citation de Jérome Cardan (Gerolamo Cardano)*
    - Il fut un joueur invétéré et l'auteur du livre
  - *EMH : Efficient Markets Hypothesis*

Marches aléatoires, imprévisibilité

> The efficient markets hypothesis (EMH), formulated in the writings of Samuelson (1965) and Fama (1965a,b; 1970), did not help much.[2] According to this theory, there are no patterns in market data that are exploitable through trading strategies. Ever since the advent of modern finance—



~1564	*Liber de ludo aleæ*, Cardan
1654	Correspondance Pascal-Fermat (« géométrie du hasard »)
1657	Mémoire de Huygens *De ratiociniis in Ludo Aleae* (premier livre jamais publié sur les probabilités)
1663	Publication du *Liber de ludo aleæ* dans les *Opera omnia* de Cardan un siècle après!
1953	traduit en anglais
2003	traduit en italien

Marches aléatoires, imprévisibilité

- Fama a commencé par à « battre le marché »

> years, Fama worked for Ernst. Part of his job was to create methods to forecast the market. The strategies always worked on the historical data he had gathered. However, there was a problem: "I tried to figure out ways to beat the market for Harry Ernst, who taught economics. I came up with mechanical kinds of strategies. He always made me have a hold-out sample to see if the strategy worked on new data—and it never did."[11] This lesson would have an important impact on Fama's later research into efficient markets.

  - *Extrait du livre : Lo & Foerster, S. R. (2021). In pursuit of the perfect portfolio: the stories, voices, and key insights of the pioneers who shaped the way we invest. Princeton University Press.*
- Ce sont ces échecs qui ont contribué à l'orienter vers l'idée d'utiliser des marches aléatoires
  - *Conformément à l'idée de Jean Piaget : l'intuition de l'aléatoire nous vient de la notion d'erreur de prévision*

Marches aléatoires, (im)prévisibilité des cours boursiers (références)

- Cardano (2015). The book on games of Chance: the 16th-century treatise on probability. Courier Dover Publications.
- Bachelier, L. (1900). Théorie de la spéculation. In Annales scientifiques de l'École normale supérieure.
- Kendall & Hill (1953). The analysis of economic time-series- part 1: Prices. Journal of the Royal Statistical Society.
- Cootner (1964). The Random Character of Stock Market Prices. MIT Press
- Fama (1965). The behavior of stock-market prices. The journal of Business.
- Fama, (1965). Random walks in stock market prices. Financial analysts journal.
- Samuelson (1965). Proof That Properly Anticipated Prices Fluctuate Randomly. Industrial Management Review.
- Fama (1970). Efficient capital markets. Journal of finance.

Marches aléatoires, (im)prévisibilité des cours boursiers (références)

- Samuelson (1973). Proof that properly discounted present values of assets vibrate randomly. The Bell Journal of Economics and Management Science.
- Malkiel (1999). A random walk down Wall Street: including a life-cycle guide to personal investing.
- Malkiel (2005). Reflections on the efficient market hypothesis: 30 years later. Financial review.
- Jovanovic (2008). The construction of the canonical history of financial economics. History of Political Economy.
- Lo & Hasanhodzic (2010). The evolution of technical analysis: Financial prediction from Babylonian tablets to Bloomberg terminals. John Wiley & Sons.
- Bernstein (2012). Capital ideas: the improbable origins of modern Wall Street. John Wiley & Sons.

Marches aléatoires, prévisibilité

- La pratique courante en finance de marché est de supposer que les prix des actions suivent une dynamique aléatoire.
- Ce qui compte, c'est la capacité à produire des trajectoires
- On peut être amené à affiner le modèle du jeu de pile ou face
  - *Probabilités de hausse ou de baisse différente de ½ (primes de risque)*
  - *Fortes variations des cours tendant à être suivies de fortes variations des cours*
- Sans remettre en cause la modélisation probabiliste
- Une rentabilité est une variable aléatoire
- Ce qu'on observe est une réalisation de cette variable aléatoire

Hasard objectif et « subjectif »

- On retrouve l'idée que notre concept de hasard est lié à nos échecs de prévision
- Thèse développée par Jean Piaget
- Et on a de bonnes raisons de penser que nous ferons beaucoup d'échecs de prévisions des cours boursiers
- No free-lunch.
- A partir de là, deux concepts de hasard
- Cognitif, épistémique (lié au savoir) : la mécanique qui engendre les prix est trop complexe pour que l'on retrouve la règle (déterministe) qui permet de générer les prix.
- Objectif, pur, intrinsèque : existe indépendamment de la connaissance que peut en avoir un sujet. De l'ordre de la dynamique des prix (de re vs de dicto).

Hasard objectif et hasard épistémique

- En pratique, ils peuvent être très difficiles, voire impossible à distinguer, puisqu'ils produisent les mêmes effets
- Mais le tenant du hasard épistémique devrait logiquement reprendre la conception mégarique du possible
- Le possible réalisé est le seul possible : ce qui ne n'est pas produit est impossible.
- Alors que pour le tenant du hasard objectif, le futur est ouvert : il y a pluralité de possibles.

Hasard objectif et « subjectif » (ou épistémique)

- Les différences de perspectives qui contraignent notre intelligibilité des dynamiques des prix se retrouvent dans la notion de hasard.
- Hasard est un mot à sens multiples, notamment lié à la notion d'imprévisibilité
- L'efficience des marchés financiers est donc logiquement liée au concept de hasard
- Commençons par la notion de hasard épistémique (relatif à notre connaissance imparfaite du futur)
- C'est la notion classique en probabilités pour Laplace

Hasard subjectif

- Pour Laplace, le monde est déterministe, mais en pratique si difficile à prévoir que seul un « génie » (le démon de Laplace) pourrait calculer l'avenir

« Le hasard n'a donc aucune réalité en lui-même: ce n'est qu'un terme propre à désigner notre ignorance… »

(*Mémoires de mathématiques et de physique présentés par divers savants*, 1773-1776)

- Illustration : la mécanique statistique

Hasard objectif

- Le hasard objectif est « réel », dans les choses elles-mêmes (de re) et non pas dans la connaissance imparfaite que l'on peut en avoir (de dicto).
- Il s'oppose donc au déterminisme.
- Désintégration d'une particule : manifestation du hasard dans le monde réel.
- Pour un mathématicien, le hasard est une abstraction mathématique, de même que le concept d'expérience aléatoire
  - *Par exemple, une idéalisation du lancer de pièce pouvant tomber sur pile ou sur face avec equiprobabilité*
- Pour un mathématicien, le hasard existe en tant qu'idée pure.