








Statistica piețelor financiare

Capitolul 14: Active cripto



Daniel Traian PELE

Academia de Studii Economice din București
IDA Institute Digital Assets
Blockchain Research Center
AI4EFin Artificial Intelligence for Energy Finance
Academia Română, Institutul de Prognoză Economică
MSCA Digital Finance

Acronime folosite în acest material (1/2)

- **ACF**: Autocorrelation Function (funcția de autocorelație)
- **AI**: Artificial Intelligence (inteligență artificială)
- **AIC**: Akaike Information Criterion (criteriul informațional Akaike)
- **API**: Application Programming Interface (interfață de programare a aplicațiilor)
- **AR**: AutoRegressive (model); Abnormal Return (model autoregresiv; randament anormal, în studiile de eveniment)
- **CI**: Confidence Interval (interval de încredere)
- **COVID-19**: COronaVIrus Disease 2019 (boala provocată de noul coronavirus, identificată în 2019)
- **CRIX**: CRypto IndeX (indicele pieței cripto)
- **EODHD**: EOD Historical Data (market-data provider) — furnizor de date de piață
- **ES**: Expected Shortfall (pierderea așteptată în coadă)
- **ETF**: Exchange-Traded Fund (fond tranzacționat la bursă)
- **EWMA**: Exponentially Weighted Moving Average (medie mobilă ponderată exponențial)
- **FTX**: FTX Trading Ltd. (crypto exchange, bankrupt in November 2022) — bursa cripto FTX, falimentară în noiembrie 2022
- **GARCH**: Generalised AutoRegressive Conditional Heteroskedasticity (heteroscedasticitate condiționată autoregresivă generalizată)

Acronime folosite în acest material (2/2)

- **GENIUS**: Guiding and Establishing National Innovation for U.S. Stablecoins (Act) — legea americană privind stablecoins de plată
- **GJR**: Glosten–Jagannathan–Runkle (asymmetric GARCH) — modelul GARCH asimetric Glosten–Jagannathan–Runkle
- **HAC**: Heteroskedasticity and Autocorrelation Consistent (standard errors) — erori standard robuste la heteroscedasticitate și autocorelație
- **HS**: Historical Simulation (simularea istorică)
- **IGARCH**: Integrated GARCH (GARCH integrat)
- **LPPL**: Log-Periodic Power Law (legea de putere log-periodică)
- **SEC**: Securities and Exchange Commission (Comisia americană pentru valori mobiliare)
- **SHA-256**: Secure Hash Algorithm, 256 bits (algoritmul de hash securizat cu 256 de biți)
- **SUA**: Statele Unite ale Americii
- **SVB**: Silicon Valley Bank (banca Silicon Valley Bank)
- **USDC**: USD Coin (stablecoin garantat cu dolari, emis de Circle)
- **UST**: TerraUSD (stablecoin algoritmic al rețelei Terra)
- **UTC**: Coordinated Universal Time (Temps Universel Coordonné) — timpul universal coordonat
- **VR**: Variance Ratio (raportul variațelor)

Întrebarea de azi și traseul

- **Întrebarea**: funcționează instrumentele statistice din Capitolele 2–10 pe o piață care nu se închide niciodată, nu are fluxuri de numerar și poate pierde 80% din valoare?
  - răspunsul este o privire statistică asupra activelor cripto, nu un curs de criptografie
- **Traseul** capitolului
  - Bitcoin și Ethereum: blockchain, proof of work și proof of stake, halving-ul
  - cripto ca o clasă de active: anualizarea cu 365 de zile, cozile, volatility clustering, GARCH, eficiența, weekendul
  - corelația cu acțiunile și aurul; bulele și drawdown-urile; ETF-urile spot pe Bitcoin din 2024
  - stablecoins: tipuri, ofertă, abateri de la paritate, USDC în martie 2023, prăbușirea TerraUSD; reglementarea; VaR 1% și ES 2,5%

Rezultatele învățării

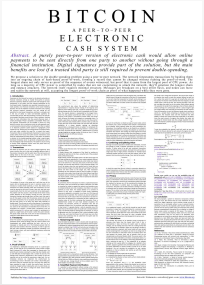
- Explicați cum înregistrează un blockchain proprietatea, de ce mining-ul consumă energie și cum rezultă oferta de Bitcoin din regula halving-ului
- Anualizați randamentele și volatilitățile cripto cu frecvența reală (365 de zile) și explicați eroarea introdusă de folosirea a 252 de zile
- Estimați tail index-ul, un model GARCH(1,1)-t și testele raportului variațelor pentru Bitcoin și comparați-le cu S&P 500
- Măsurați în timp corelația activelor cripto cu acțiunile și aurul, precum și drawdown-urile unui activ cripto
- Descrieți cele trei tipuri de stablecoins, măsurați abaterea de la paritate în puncte de bază și interpretați un episod de depeg
- Calculați VaR 1% și ES 2,5% ale unei poziții cripto și verificați-le prin backtesting

Bibliografie și instrumente

- Manual: Franke, Härdle & Hafner (2019), cap. 23 (criptomonede)
  - sinteze: Härdle, Harvey & Reule (2020); indicele cripto CRIX: Trimborn & Härdle (2018)
  - riscuri și randamente: Liu & Tsyvinski (2021); stablecoins: Gorton et al. (2022), Lyons & Viswanath-Natraj (2023)
- Quantlet-urile Python ale capitolului: Quantlets/Ch_14
  - date zilnice de la EODHD (închiderea cripto, 7 zile pe săptămînă); oferta de stablecoins de la DefiLlama
- Notebook-ul cursului: deschideți în Google Colab
- Cursuri video: Introduction to Blockchain and Cryptocurrencies; Cryptocurrency as an Asset Class

Lucrarea lui Nakamoto (2008)

- 31 octombrie 2008: Nakamoto (2008) propune „un sistem de numerar electronic peer-to-peer”
  - **peer-to-peer**: utilizatorii își plătesc direct unii altora, fără o bancă la mijloc
  - problema rezolvată: **dubla cheltuire** (double spending), adică plata de două ori cu aceeași monedă digitală
- 3 ianuarie 2009: primul bloc; 2010: primele tranzacții pe exchange-uri
  - **exchange**: o platformă de tranzacționare unde activele cripto se cumpără și se vând contra dolari sau alte active cripto
- **Activ cripto**: un activ digital a cărui proprietate este înregistrată într-un blockchain
  - autorul, „Satoshi Nakamoto”, este încă necunoscut; monedele obținute prin mining în 2009–2010 nu au fost mutate niciodată



BITCOIN

A PEER-TO-PEER

ELECTRONIC

CASH SYSTEM

Abstract. A purely peer-to-peer version of electronic cash would allow online payments to be sent directly from one party to another without going through a financial institution. Digital signatures provide part of the solution, but the main benefits are lost if a trusted third party is still required to prevent double-spending.

Lucrarea care a lansat Bitcoin, 2008

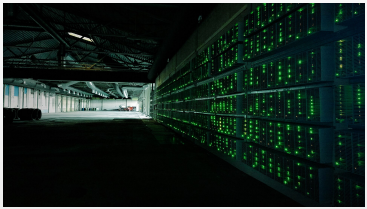
Text: Satoshi Nakamoto (2008); afiș: DailyCoinPost (2018); CC0; Wikimedia Commons

Blockchain-ul: un registru public

- **Registru** (ledger): lista tuturor tranzacțiilor; cine ține registrul știe cine ce deține
  - băncile țin registre private; Bitcoin ține un singur registru public, copiat pe mii de calculatoare (**noduri**)
- **Bloc**: un pachet de tranzacții; **hash**: o amprentă scurtă a unui bloc (funcția SHA-256)
  - schimbarea unui singur caracter dintr-un bloc îi schimbă complet hash-ul
  - fiecare bloc conține hash-ul blocului anterior: blocurile formează un **lanț**
- Consecința: rescrierea unei tranzacții vechi înseamnă rescrierea tuturor blocurilor ulterioare
  - cine poate adăuga următorul bloc și cu ce cost decide regula de **consens** (slide-ul următor)
- Proprietatea: o monedă aparține celui care deține cheia privată a adresei ei; o cheie pierdută înseamnă o monedă pierdută

Proof of work și mining-ul

- **Proof of work** (PoW): pentru a adăuga un bloc, un **miner** trebuie să găsească un număr care face hash-ul blocului mai mic decît o țintă
  - singura metodă este încercarea repetată: miliarde de hash-uri pe secundă, pe mașini specializate
  - ținta se ajustează la fiecare 2016 blocuri, astfel încît un bloc să apară cam la 10 minute
- Cîștigătorul primește **subvenția blocului** (monede noi) plus comisioanele tranzacțiilor
  - pentru a rescrie istoria, un atacator ar avea nevoie de mai multă putere de calcul decît toți minerii onești la un loc
- Costul securității este electricitatea: de aceea Bitcoin este criticat pentru consumul de energie



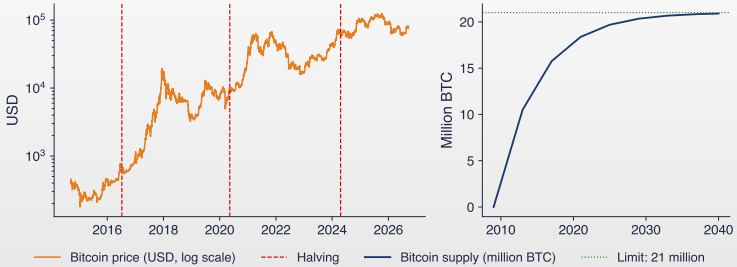
O fermă de mining pentru Bitcoin, 2014

Foto: Marko Ahtisaari (2014); CC BY 2.0; Wikimedia Commons

Regula ofertei și halving-ul

- Subvenția blocului: 50 BTC din 2009, **înjumătățită** la fiecare 210 000 de blocuri (cam patru ani)
  - 2012: 25; 2016: 12,5; 2020: 6,25; aprilie 2024: 3,125 BTC pe bloc
  - evenimentul înjumătățirii subvenției se numește **halving**
- Oferta totală: o serie geometrică
  - $210\,000 \times 50 \times (1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \dots) = 210\,000 \times 50 \times 2 = 21$ de milioane de BTC
  - circa 19,4 milioane la începutul lui 2024, 20,4 milioane în 2030: aproape toate monedele există deja
- Datele halving-urilor se cunosc cu ani înainte
  - pe o piață eficientă (Capitolul 7), o reducere previzibilă a ofertei noi ar trebui să fie deja inclusă în preț

Prețul și oferta de Bitcoin



- Stînga: închiderea Bitcoin în USD (scală logaritmică), 457 USD în septembrie 2014 și 80 901 USD pe 18 septembrie 2026; linii întrerupte: halving-urile din 2016, 2020 și 2024. Dreapta: oferta din regula protocolului
- Interpretare: la un an după halving-uri, prețul era mai mare cu 287%, 559% și 31%; trei observații nu sînt o dovadă, iar efectul se micșorează

SFM_ch14_bitcoin_basics

Anonimatul fondatorului Bitcoin

- Nimeni nu știe cine este „Satoshi Nakamoto”; fondatorul a încetat să mai scrie în 2011
  - regulile Bitcoin se schimbă doar dacă majoritatea nodurilor acceptă noul software
- Consecințe pentru un statistician
  - nicio companie, niciun profit, niciun dividend: niciun flux de numerar de actualizat
  - prețul reflectă doar cererea: plăți, speculație, încrederea în raritate Baur, Hong & Lee (2018)
  - deci modelele obișnuite de evaluare nu se aplică; studiem prețul ca obiect statistic
- Tranzacțiile au loc non-stop pe sute de exchange-uri, 365 de zile pe an

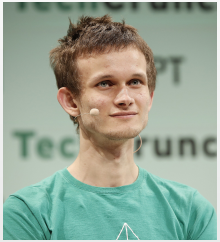


Bustul lui Satoshi Nakamoto, Budapesta

Foto: Fekist (2021); CC BY-SA 4.0; Wikimedia Commons

Ethereum, contractele inteligente și proof of stake

- 2014: Buterin (2014) propune Ethereum, un blockchain care execută programe; lansat în iulie 2015
  - **contract inteligent** (smart contract): un program stocat în blockchain care execută o tranzacție cînd condițiile lui sînt îndeplinite
  - pe baza lui: token-uri, stablecoins și DeFi (finanțe descentralizate: credit și tranzacționare fără intermediari)
- **Proof of stake** (PoS): dreptul de a adăuga un bloc se trage la sorți proporțional cu monedele blocate drept garanție (**stake**)
  - frauda se pedepsește prin pierderea garanției; nu mai există o cursă a puterii de calcul
  - 15 septembrie 2022 („the Merge"): Ethereum trece de la PoW la PoS; consumul de energie scade cu peste 99,9% ethereum.org: The Merge



Vitalik Buterin, 2015

Foto: John Phillips (2015); CC BY 2.0; Wikimedia Commons

Prețuri și date

- Nu există un exchange unic: fiecare platformă are propriul preț; prețurile diferă între țări Makarov & Schoar (2020)
  - un furnizor de date agregă platformele într-o serie zilnică; aici: EODHD, închiderea la miezul nopții UTC (Coordinated Universal Time, ora universală coordonată)
- Șapte zile de tranzacționare pe săptămînă: fără goluri de weekend, fără sărbători
  - Bitcoin: 4 384 de randamente zilnice din 2014; S&P 500: 3 017 randamente în aceeași perioadă
- Există indici de piață cu multe monede, de exemplu CRIX (Crypto Index) Trimborn & Härdle (2018)
  - CRIX alege numărul de monede cu criteriul AIC (Capitolul 6): puține monede descriu întreaga piață
- Randamentele: $r_t = 100(\ln P_t - \ln P_{t-1})$ în %, fiecare serie pe propriul calendar



Un bancomat Bitcoin, Praga

Foto: Perituss (2016); CC0; Wikimedia Commons

Anualizarea cu frecvența reală (1/2)

- Cu A observații pe an și randamente zilnice i.i.d. (Capitolul 1):
  - media anuală $= A\,\bar{r}$, volatilitatea anuală $= \sqrt{A}\,s$
  - $\bar{r}$: randamentul zilnic mediu; s: abaterea standard a randamentelor zilnice; A: numărul de randamente pe an
  - i.i.d.: independente și identic distribuite; atunci variațele celor A randamente zilnice se adună, de aici $\sqrt{A}$
- Valoarea corectă a lui A este numărul real de observații pe an
  - acțiunile: $A \approx 252$ de zile de tranzacționare; cripto: $A = 365$
  - frecvența reală în datele noastre: $A = 365{,}3$ pentru Bitcoin, 251,4 pentru S&P 500

Anualizarea cu frecvența reală (2/2)

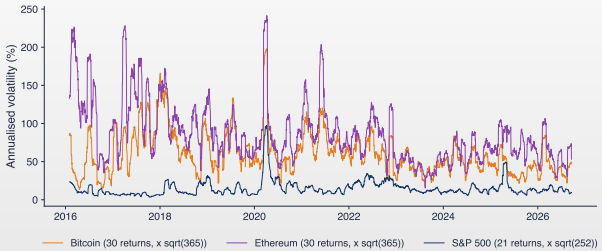
- **Exemplu lucrat**: Bitcoin, $\bar{r} = 0{,}1181\%$, $s = 3{,}485\%$ pe zi
  - corect: $\sqrt{365} \times 3{,}485 = 19{,}10 \times 3{,}485 = 66{,}6\%$; media $365 \times 0{,}1181 = 43{,}1\%$
  - greșit: $\sqrt{252} \times 3{,}485 = 55{,}3\%$ și $252 \times 0{,}1181 = 29{,}8\%$
- Regula cu 252 subestimează volatilitatea cu 16,9% și media cu 31,0%
  - amestecul lor (media $\times 252$, volatilitatea $\times \sqrt{365}$) deformează și raportul Sharpe
  - comparațiile cu acțiunile: anualizăm fiecare serie cu propriul A, niciodată cu unul comun

Compararea a cinci active

	din	n	media (%)	ab. std. (%)	vol. anuală (%)	asim.	exces de boltire	min (%)
Bitcoin	2014	4 384	0,118	3,49	66,6	−0,70	12,0	−46,5
Ethereum	2016	3 913	0,202	4,99	95,3	−0,20	9,0	−55,1
Solana	2020	2 351	0,212	6,12	117,1	−0,22	7,9	−55,0
S&P 500	2014	3 017	0,044	1,11	17,6	−0,64	15,8	−12,8
Aur	2014	3 124	0,041	1,01	16,4	−0,41	9,5	−11,1

- Randamente logaritmice zilnice pînă pe 18 septembrie 2026; volatilitatea anuală $= \sqrt{A}\, s$ cu frecvența reală A a fiecărei serii; aurul: XAU/USD
  - asimetria: media lui $((r_t - \bar{r})/s)^{\mathbf{3}}$; excesul de boltire: media lui $((r_t - \bar{r})/s)^{\mathbf{4}}$ minus 3 (ambele 0 pentru distribuția Normală)
- Interpretare
  - Bitcoin este de 3,8 ori mai volatil decît S&P 500 (66,6% față de 17,6%); Ethereum de 5,4 ori, Solana de 6,7 ori
  - în 11,6% din zile, Bitcoin se mișcă cu peste 5%; cea mai proastă zi: −46,5% pe 12 martie 2020
  - toate cinci au asimetrie negativă și exces de boltire: faptele stilizate din Capitolul 2 se păstrează, într-o formă mai puternică

Volatilitatea în timp



- Volatilitatea pe circa o lună: 30 de randamente zilnice $\times\sqrt{365}$ pentru cripto, 21 de randamente $\times\sqrt{252}$ pentru S&P 500
- Interpretare: medianele 54% (Bitcoin), 77% (Ethereum), 12% (S&P 500); raportul median Bitcoin/S&P 500 este 3,8; toate trei ating maximul în martie–aprilie 2020
- Volatilitatea Bitcoin scade în timp, dar a fost sub cea a S&P 500 doar în 0,1% din zile

SFM_ch14_asset_class

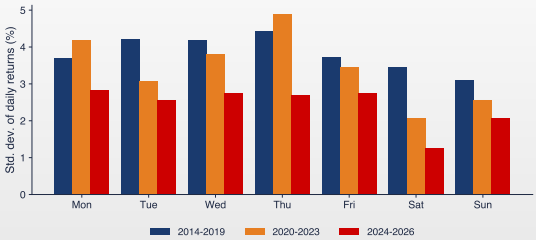
Studiu de caz: riscurile și randamentele criptomonedelor

- Liu & Tsyvinski (2021): Bitcoin, Ripple și Ethereum, randamente zilnice și săptămînale, 2011–2018
  - metoda: regresia randamentelor cripto pe factorii pieței de acțiuni, pe valute, mărfuri și factori macroeconomici
- Rezultatele
  - randamentele cripto nu au aproape nicio expunere la factorii obișnuiți: o clasă de active separată
  - momentum puternic în timp: randamentele mari dintr-o săptămînă prognozează randamente mari în săptămînile următoare
  - atenția investitorilor (căutări Google, postări pe Twitter) prognozează randamentele
- Continuare Liu, Tsyvinski & Wu (2022): trei factori cripto (piața, dimensiunea, momentum) explică randamentele transversale ale monedelor
  - legătura cu acțiunile s-a schimbat după 2020 (secțiunea 5): rezultatele depind de perioada eșantionului

Efectul zilei săptămînii la Bitcoin

- Bursele de acțiuni se închid în weekend; piețele cripto nu, dar băncile, investitorii instituționali și știrile încetinesc
  - **efectul zilei din săptămînă**: medie sau varianță diferită a randamentelor în anumite zile Caporale & Plastun (2019)
- Două teste pe Bitcoin, fiecare zi etichetată după data închiderii
  - media: $r_t = a + b\,W_t + \varepsilon_t$, cu $W_t = 1$ sîmbăta și duminica și 0 în rest; erori standard HAC (Newey–West)
  - a: randamentul mediu în zilele lucrătoare; b: diferența weekend minus zile lucrătoare; $b = 0$: niciun efect de weekend în medie
  - varianța: testul Brown–Forsythe (testul Levene în jurul medianei), robust la cozi groase
- Raportul dintre varianța din weekend și cea din zilele lucrătoare: egal cu 1 dacă fiecare zi ar avea același risc

Volatilitatea Bitcoin pe zile ale săptămînii



- Abaterea standard a randamentelor zilnice după ziua închiderii; trei perioade
- Coeficientul variabilei weekend, b (p-value): $-0{,}01$ (0,95); $-0{,}11$ (0,48); $-0{,}03$ (0,83): niciun efect de weekend în medie
- Interpretare: varianța weekend/zile lucrătoare 0,66; 0,35; 0,39 (Brown–Forsythe p 0,002; $< 0{,}001$; $< 0{,}001$): piața cripto este mai liniștită cînd pieţele tradiționale sînt închise

SFM_ch14_asset_class

Cozi groase: estimatorul Hill (1/2)

- Hill (1975) (Capitolul 5): tail index-ul estimat din cele mai mari k pierderi (sau cîștiguri)

$$\hat{\alpha} = \Big[\frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} \ln \frac{X_{(i)}}{X_{(k+1)}}\Big]^{-1}, \qquad CI_{95\%} = \hat{\alpha}\Big(1 \pm \frac{1{,}96}{\sqrt{k}}\Big)$$

- Notațiile
  - $X_{(1)} \geq X_{(2)} \geq \ldots$: pierderile (sau cîștigurile) ordonate descrescător; $X_{(k+1)}$: pragul cozii
  - k: numărul observațiilor din coadă, aici $k = 2{,}5\%$ din n; n: volumul eșantionului; CI: intervalul de încredere
- Semnificația lui α: $P(X > x) \approx c\, x^{-\alpha}$ pentru x mare (c: o constantă)
  - un α mai mic înseamnă o coadă mai groasă
  - momentele de ordin $\geq \alpha$ sînt infinite: $\alpha < 4$ înseamnă o boltire infinită

Cozi groase: estimatorul Hill (2/2)

	coada stîngă $\hat{\alpha}$	CI 95%	coada dreaptă $\hat{\alpha}$	CI 95%
Bitcoin	2,71	[2,20; 3,21]	3,37	[2,74; 4,00]
Ethereum	2,62	[2,10; 3,15]	3,09	[2,48; 3,71]
Solana	2,84	[2,11; 3,57]	3,41	[2,54; 4,29]
S&P 500	2,68	[2,08; 3,29]	2,80	[2,17; 3,43]
Aur	3,11	[2,42; 3,80]	3,04	[2,36; 3,71]

- Interpretare
  - coada stîngă a Bitcoin ($\hat{\alpha} = 2{,}71$) este mai groasă decît coada dreaptă
  - toți indicii cozii stîngi sînt sub 4: boltirea de selecție din tabelul celor cinci active nu este o valoare stabilă
  - intervalele pentru cripto și acțiuni se suprapun

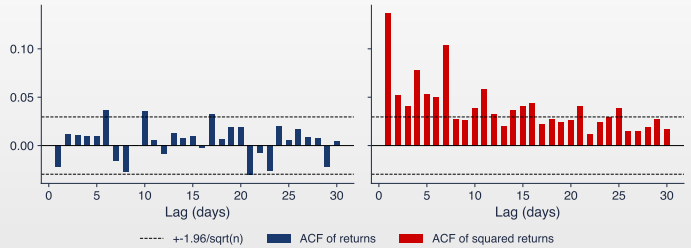
Interpretarea ACF și a testului Ljung–Box

- **ACF** (funcția de autocorelație): $\hat{\rho}(k)$, corelația de selecție dintre r_t și r_{t-k}; k: lagul, în zile
  - în ipoteza de independență, $\hat{\rho}(k)$ se află în intervalul $\pm 1{,}96/\sqrt{n}$ cu probabilitatea 95% (n: numărul de randamente)
  - ACF a lui r_t: este direcția previzibilă? ACF a lui r_t^2: este mărimea mișcării previzibilă (volatility clustering)?
- Testul **Ljung–Box** pentru primele 10 autocorelații împreună:

$$Q(10) = n(n+2)\sum_{k=1}^{10} \frac{\hat{\rho}(k)^2}{n-k}$$

- Interpretarea
  - în absența autocorelației, $Q(10)$ urmează o distribuție χ^2 cu 10 grade de libertate
  - un $Q(10)$ mare și un p-value mic: autocorelațiile sînt semnificative împreună

Volatility clustering la Bitcoin



- ACF a lui r_t și a lui r_t^2, lagurile 1–30; linii întrerupte: $\pm 1{,}96/\sqrt{n} = \pm 0{,}030$
- Randamentele: $\hat{\rho}(1) = -0{,}022$, 4 din 30 de laguri în afara benzii; pătratele: $\hat{\rho}(1) = 0{,}137$, 15 din 30 în afara benzii
- Interpretare: statistica Ljung–Box $Q(10)$ este 20,2 pentru r_t (p 0,028) și 212,7 pentru r_t^2 (p $< 0{,}001$): direcția este greu de prognozat, mărimea mișcării nu

SFM_ch14_garch_efficiency

GARCH(1,1)-t pentru active cripto și tradiționale (1/2)

- Bollerslev (1986) (Capitolul 9): varianța de azi este o sumă ponderată a unei constante, a pătratului șocului de ieri și a variației de ieri

$$\sigma_t^2 = \omega + \alpha\,\varepsilon_{t-1}^2 + \beta\,\sigma_{t-1}^2, \qquad \varepsilon_t = \sigma_t z_t$$

- Notațiile
  - σ_t^2: varianța condiționată a zilei t; ε_t: șocul (randamentul centrat); z_t: Student-t cu ν grade de libertate, scalat la varianța 1
  - $\omega > 0$: constanta; $\alpha \geq 0$: reacția la șocuri; $\beta \geq 0$: memoria variației trecute; $\alpha + \beta$: persistența
  - timpul de înjumătățire a unui șoc: $\ln 0{,}5 / \ln(\alpha + \beta)$ zile, intervalul după care jumătate din efectul lui asupra variației a dispărut
- GJR: un termen suplimentar $\gamma\,\varepsilon_{t-1}^2 \mathbb{1}\{\varepsilon_{t-1} < 0\}$
  - $\mathbb{1}\{\varepsilon_{t-1} < 0\} = 1$ după o scădere; $\gamma > 0$: scăderile cresc volatilitatea mai mult decît creșterile, efectul de levier al acțiunilor

GARCH(1,1)-t pentru active cripto și tradiționale (2/2)

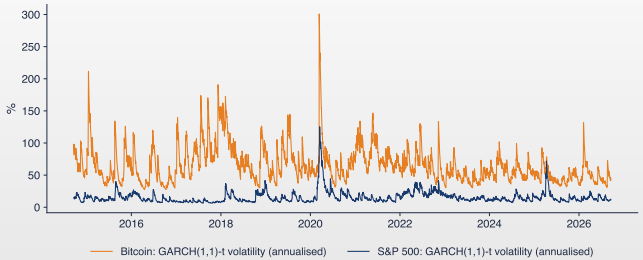
	$\hat{\omega}$	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\alpha}+\hat{\beta}$	timp de înjumătățire (zile)	$\hat{\nu}$	GJR $\hat{\gamma}$ (t)
Bitcoin	0,194	0,109	0,891	1,000	–	3,18	−0,013 (−0,72)
Ethereum	1,067	0,175	0,825	1,000	–	3,14	0,032 (0,91)
S&P 500	0,024	0,173	0,820	0,993	100	5,50	0,280 (7,08)
Aur	0,010	0,047	0,947	0,994	113	4,13	−0,051 (−3,33)

- Estimații prin verosimilitate maximă pe randamente logaritmice zilnice; timpul de înjumătățire în zile; t: statistica t a lui $\hat{\gamma}$

Interpretarea estimărilor GARCH

- Cripto: $\hat{\alpha} + \hat{\beta} = 1$, la limita domeniului: un GARCH integrat (IGARCH; EWMA din Capitolul 8 este cazul $\omega = 0$)
  - un șoc al volatilității nu se stinge în eșantion; nu există o varianță de termen lung finită spre care să revină volatilitatea
  - S&P 500 și aurul: timpi de înjumătățire de 100 și 113 zile
- $\hat{\nu} \approx 3{,}18$ pentru Bitcoin: chiar după filtrarea GARCH, cozile sînt foarte groase
  - S&P 500 are $\hat{\nu} = 5{,}50$
- Niciun efect de levier la cripto: $\hat{\gamma} = -0{,}013$ ($t = -0{,}72$) pentru Bitcoin, față de 0,280 ($t = 7{,}08$) pentru S&P 500
  - aurul are $\hat{\gamma} < 0$ ($t = -3{,}33$): creșterile prețului cresc volatilitatea mai mult decît scăderile, ca la un activ de refugiu
- Katsiampa (2017) compară modele de tip GARCH pentru Bitcoin: cel mai bine se potrivește un model cu o componentă de termen scurt și una de termen lung a volatilității

Volatilitatea condiționată: Bitcoin și S&P 500



- Volatilitatea GARCH(1,1)-t $\hat{\sigma}_t$, anualizată cu $\sqrt{365}$ (Bitcoin) și $\sqrt{252}$ (S&P 500)
- Interpretare: ambele ating maximul în martie 2020 (301% și 125%); pe 18 septembrie 2026, modelul dă 42% pentru Bitcoin și 12% pentru S&P 500

SFM_ch14_garch_efficiency

Eficiența în formă slabă: ipotezele testate

- Fama (1970): pe o piață eficientă în formă slabă, prețurile trecute nu ajută la prognoza randamentelor viitoare (Capitolul 7)
  - formele eficienței: slabă (prețurile trecute), semi-tare (informația publică), tare (toată informația)
- Testele folosite aici
  - autocorelația de ordinul întîi $\hat{\rho}(1)$ și statistica Ljung–Box $Q(10)$
  - raportul variațelor Lo & MacKinlay (1988): $\mathrm{VR}(q) = \mathrm{Var}(r_t + \cdots + r_{t-q+1})/(q\,\mathrm{Var}(r_t))$, egal cu 1 pentru un mers aleator
  - q: orizontul, în zile; $r_t + \cdots + r_{t-q+1}$: randamentul logaritmic pe q zile; fără autocorelație, varianța lui este de q ori cea zilnică
  - $Z^*(q) = (\widehat{\mathrm{VR}}(q) - 1)/\sqrt{\hat{\theta}^*(q)}$; $\hat{\theta}^*$: varianța lui $\widehat{\mathrm{VR}}$, robustă la volatility clustering
  - $Z^* \approx N(0,1)$ pentru un mers aleator (Capitolul 7); respingem la 5% dacă $|Z^*| > 1{,}96$
- VR > 1: momentum (tendințe); VR < 1: revenire la medie

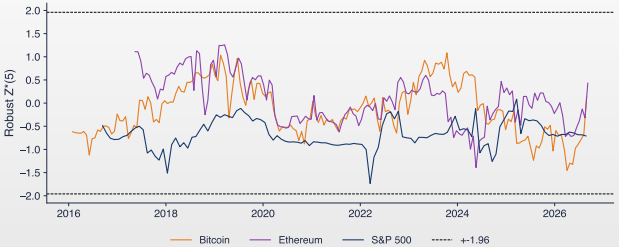
Testele raportului variațelor pe întregul eșantion

	$\hat{\rho}(1)$	$Q(10)$ (p)	VR(2)	VR(5)	VR(10)	$Z^*(5)$ (p)
Bitcoin	−0,022	20,2 (0,028)	0,977	0,991	1,027	−0,19 (0,853)
Ethereum	−0,012	22,7 (0,012)	0,988	1,067	1,137	1,17 (0,241)
S&P 500	−0,126	236,1 ($<$ 0,001)	0,875	0,849	0,813	−1,28 (0,201)

	perioada	n	$\hat{\rho}(1)$	VR(5)	$Z^*(5)$ (p)
Bitcoin	2014–2017	1 201	0,028	0,975	−0,23 (0,815)
Bitcoin	2018–2021	1 460	−0,057	0,981	−0,25 (0,801)
Bitcoin	2022–2026	1 721	−0,026	1,013	0,18 (0,856)
Ethereum	2016–2017	730	0,034	1,127	1,03 (0,303)
Ethereum	2018–2021	1 460	−0,064	0,997	−0,04 (0,971)
Ethereum	2022–2026	1 721	−0,015	1,014	0,20 (0,844)

- Interpretare: niciun test VR nu respinge mersul aleator, în nicio subperioadă; testul Ljung–Box respinge slab la cripto deoarece ignoră volatility clustering

Eficiența în timp



- Statistica robustă $Z^*(5)$ pe ferestre de 500 de observații, o fereastră la fiecare 21 de observații (ca în Capitolul 7)
- Interpretare: la Bitcoin, 0,0% din 185 de ferestre resping; cu statistica i.i.d. $Z(5)$, proporția ar fi 1,6% pentru Bitcoin și 21,7% pentru S&P 500: ignorarea volatility clustering produce respingeri false

SFM_ch14_garch_efficiency

Evoluția eficienței

- Urquhart (2016): Bitcoin a fost ineficient în 2010–2016 ca întreg, dar s-a apropiat de eficiență după 2013
  - Nadarajah & Chu (2017): o transformare de tip putere a acelorași randamente trece testele: verdictul inițial era fragil
  - Tran & Leirvik (2020): o măsură ajustată a ineficienței; piețele cripto au devenit mai eficiente după 2017
- Datele noastre (din 2014): VR(5) între 0,78 și 1,17 pe ferestre mobile; nicio respingere robustă
  - piața s-a extins, au intrat arbitrajorii, au apărut derivatele și ETF-urile: perspectiva piețelor adaptive din Capitolul 11
- Eficiența în formă slabă nu este eficiență în general: prețurile pot fi imprevizibile și totuși departe de orice valoare fundamentală

Studiu de caz: tranzacționare și arbitraj între exchange-uri

- Makarov & Schoar (2020): date tick-by-tick de pe 34 de exchange-uri din 19 țări, 2017–2018
  - **arbitraj**: cumpărăm unde prețul este mic, vindem unde este mare; pe o piață eficientă diferența se închide repede
- Rezultatele
  - diferențe mari și persistente de preț între țări (Coreea, Japonia și SUA), mult mai mici în interiorul unei țări
  - diferențele se deschid cînd Bitcoin crește, iar controlul capitalurilor face arbitrajul dificil
  - o componentă comună explică cea mai mare parte a fluxului de ordine: prețurile sînt determinate de o piață globală
- Lecția: „legea prețului unic" nu funcționează acolo unde banii nu circulă liber; un test statistic pe o singură serie nu poate vedea asta

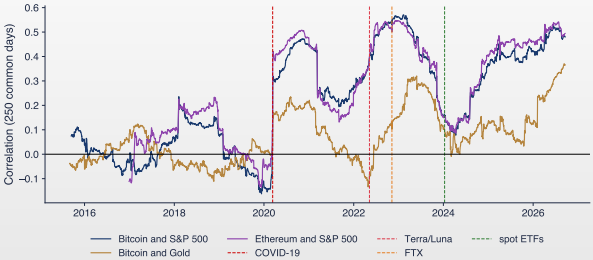
Studiu de caz: este Bitcoin cu adevărat independent de Tether?

- Griffin & Shams (2020): înregistrările din blockchain ale Bitcoin și ale stablecoin-ului Tether (USDT), 2017–2018
  - întrebarea: a fost folosit USDT nou emis pentru a cumpăra Bitcoin după scăderi de preț?
- Rezultatele
  - cumpărările cu Tether au venit după scăderi ale pieței și au fost urmate de creșteri ale prețului
  - fluxurile proveneau în principal de la un singur cont mare de pe un singur exchange (Bitfinex)
  - orele cu astfel de fluxuri explică o parte mare a creșterii din 2017
- Similar: manipularea exchange-ului Mt. Gox în 2013 Gandal et al. (2018). Lecția: datele din blockchain permit teste imposibile pe piețele de acțiuni

Măsurarea corelației între calendare diferite

- Bitcoin se tranzacționează 7 zile pe săptămînă, S&P 500 și aurul 5: întîi unim **prețurile** în zilele comune, apoi calculăm randamentele
  - randamentul Bitcoin de luni acoperă atunci perioada vineri–luni, ca și randamentul S&P 500
  - unirea randamentelor, în schimb, ar elimina mișcările Bitcoin din weekend
- Închideri **asincrone**: Bitcoin la miezul nopții UTC, S&P 500 la ora 16:00 la New York
  - randamentele săptămînale (vineri–vineri) reduc această problemă; le raportăm pe ambele
- **Corelația mobilă**: corelația de selecție pe ultimele 250 de zile comune, recalculată în fiecare zi
  - eroarea standard este circa $(1-\rho^2)/\sqrt{250} \approx 0{,}06$ (ρ: corelația adevărată, aici mică): mișcările sub 0,1 sînt zgomot

Corelația mobilă cu acțiunile și aurul



- Randamente logaritmice zilnice în zilele comune; ferestre de 250 de zile; linii întrerupte: COVID-19, Terra/Luna, FTX și ETF-urile spot
- Interpretare: Bitcoin și S&P 500 erau necorelate înainte de 2020 (0,02) și corelate pozitiv după (0,39); maximul, 0,57, a apărut pe 9 februarie 2023; legătura cu aurul, slabă pînă în 2025, a crescut în 2026 (maximul 0,37 pe 11 septembrie 2026)

SFM_ch14_correlation

Corelația an cu an

Bitcoin cu	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
S&P 500	−0,11	0,45	0,26	0,56	0,16	0,36	0,42
aurul	0,01	0,21	−0,02	0,15	0,12	0,12	0,12
Ethereum cu S&P 500	−0,02	0,47	0,20	0,55	0,15	0,40	0,46

- Întreaga perioadă: zilnic 0,24, săptămînal 0,19 pentru Bitcoin și S&P 500
  - închiderile asincrone nu explică corelația: randamentele săptămînale dau o valoare apropiată
- Interpretare
  - din 2020, activele cripto se comportă ca active riscante: scad odată cu acțiunile cînd dobînzile cresc (2022)
  - schimbarea coincide cu intrarea investitorilor instituționali; beneficiul diversificării măsurat înainte de 2020 nu se mai păstrează

Trei episoade de criză

Episodul	perioada	Bitcoin	Ethereum	S&P 500	aur	cea mai proastă zi Bitcoin
COVID-19	19 februarie 2020 – 23 martie 2020	−40,6	−65,5	−41,4	0,3	−46,5
Terra/Luna	5 mai 2022 – 12 mai 2022	−23,0	−33,8	−5,4	−3,0	−11,7
FTX	5 noiembrie 2022 – 21 noiembrie 2022	−29,9	−38,4	4,6	3,4	−15,5

- Randamente logaritmice cumulate în % de la prima la ultima închidere; cea mai proastă zi: cel mai mic randament logaritmic zilnic al Bitcoin
- Interpretare
  - COVID-19 (un șoc global): activele cripto au scăzut cît acțiunile, aurul nu s-a mișcat
  - Terra/Luna (mai 2022) și FTX (un exchange care a dat faliment în noiembrie 2022): șocuri specifice cripto; activele cripto au scăzut cu un sfert sau mai mult, S&P 500 mult mai puțin sau deloc
  - dependența este asimetrică: crahurile acțiunilor ajung la cripto, crahurile cripto rareori ajung la acțiuni

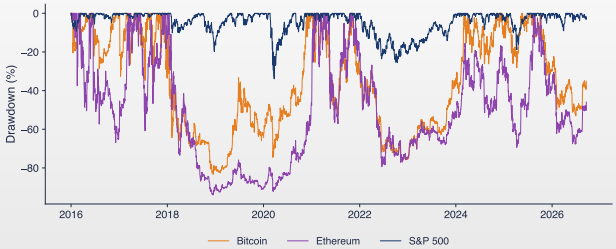
Bitcoin ca instrument de acoperire sau activ de refugiu

- Baur & Lucey (2010): o **acoperire** (hedge) este necorelată sau corelată negativ cu acțiunile în medie; un **refugiu** (safe haven) este astfel în timpul crahurilor
  - testul: randamentul mediu în cele mai proaste 5% dintre zilele S&P 500 (151 de zile comune, S&P 500 sub $-1{,}65\%$, în medie $-2{,}70\%$)
- Bitcoin: $-2{,}77\%$ în acele zile ($t = -4{,}89$, $p < 0{,}001$); negativ în 70% dintre ele
  - aurul: $0{,}10\%$ ($t = 0{,}86$, p 0,394)
- Interpretare: Bitcoin nu este un activ de refugiu; în cele mai proaste zile ale acțiunilor scade cît S&P 500; aurul își păstrează valoarea
- Narațiunea „aurului digital" nu este susținută de datele acestui eșantion

Drawdown-ul

- **Drawdown**: $D_t = P_t / \max_{s \le t} P_s - 1$, pierderea față de ultimul maxim istoric (Capitolul 1)
  - P_t: prețul din ziua t; $\max_{s \le t} P_s$: cel mai mare preț pînă în ziua t; $D_t \le 0$
  - **drawdown maxim**: $\min_t D_t$; **perioada underwater** (time under water): zilele pînă la un nou maxim istoric
- O pierdere d cere un cîștig $d/(1-d)$ pentru revenirea la vîrful anterior, deoarece $(1-d)(1+g) = 1$ dă $g = d/(1-d)$
  - $d = 75\%$: $0{,}75/0{,}25 = 300\%$; $d = 80\%$: 400%
  - cel mai adînc drawdown al Bitcoin în datele noastre: $-83{,}4\%$ (15 decembrie 2018); recuperarea a cerut un cîștig de 502%
- Drawdown-urile depind de traiectorie, nu doar de distribuția randamentelor: volatilitatea mare și volatility clustering produc drawdown-uri adînci

Drawdown-urile Bitcoin, Ethereum și S&P 500



- Închideri zilnice din 2016; drawdown-uri maxime: Bitcoin −83,4%, Ethereum −94,0%, S&P 500 −33,9%
- Interpretare: Bitcoin a petrecut 76% din zile la peste 10% sub maximul istoric, Ethereum 90%, S&P 500 16%; pe 18 septembrie 2026, Bitcoin era cu 35,2% sub maximul istoric

SFM_ch14_bubbles_etf

Marile drawdown-uri ale Bitcoin

Maxim	USD	minim	USD	adîncime (%)	nou maxim	zile underwater
2014-09-17	457	2015-01-14	178	−61,1	2015-12-15	454
2017-12-16	19 497	2018-12-15	3 237	−83,4	2020-11-30	1080
2021-04-13	63 503	2021-07-20	29 807	−53,1	2021-10-19	189
2021-11-08	67 567	2022-11-21	15 787	−76,6	2024-03-04	847
2025-10-06	124 753	2026-06-30	58 559	−53,1	încă nu	–

- Episoadele din septembrie 2014 cu drawdown de peste 50%; datele în formatul an-lună-zi
- Interpretare
  - 5 scăderi de peste jumătate în doisprezece ani: un crah de această mărime este un eveniment obișnuit, nu unul rar
  - maximele din 2017 și 2021 au fost recuperate după 1080 și, respectiv, 847 de zile

Bulele și modelele log-periodice

- **Bulă**: un preț mult peste valoarea fundamentală, susținut de așteptarea unei revînzări la un preț mai mare
  - Cheah & Fry (2015): valoarea fundamentală a Bitcoin este zero; prețul său arată bule speculative
- Legea de putere log-periodică (LPPL) Johansen, Ledoit & Sornette (2000): înaintea unui crah, $\ln P_t \approx A + B(t_c - t)^m + C(t_c - t)^m \cos(\omega \ln(t_c - t) - \phi)$
  - t_c: momentul critic (data cea mai probabilă a crahului); A: logaritmul prețului atins la t_c (aici A nu este numărul de perioade pe an)
  - $B < 0$, $0 < m < 1$: o creștere mai rapidă decît cea exponențială; C, ω, ϕ: amplitudinea, frecvența și faza unor oscilații tot mai dese spre t_c
- Atenție: șapte parametri, multe optime locale, iar t_c este cel mai incert dintre ei; ajustările par convingătoare abia după crah

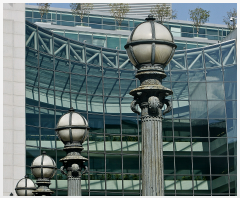


Didier Sornette

Foto: Didier Sornette (2012); CC BY-SA 3.0 DE; Wikimedia Commons

Ianuarie 2024: aprobarea ETF-urilor spot pe Bitcoin

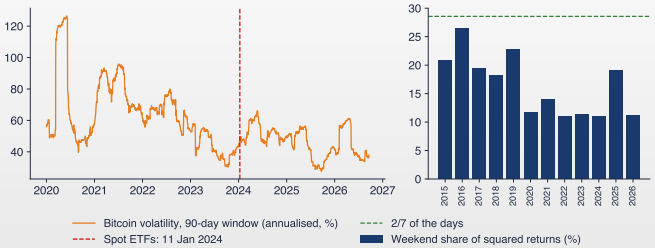
- **ETF** (exchange-traded fund): un fond ale cărui unități se tranzacționează la bursă; **spot**: deține activul însuși, nu contracte futures
  - 10 ianuarie 2024: SEC (Securities and Exchange Commission) aprobă 11 ETF-uri spot pe Bitcoin SEC (2024); tranzacționarea începe pe 11 ianuarie
- Importanța momentului
  - fondurile de pensii și consultanții pot deține Bitcoin printr-un instrument financiar reglementat
  - unitățile ETF se tranzacționează doar în zilele lucrătoare: o parte a tranzacționării se mută în orele bursei
- Întrebarea statistică: s-au schimbat volatilitatea Bitcoin, tiparul ei de weekend sau legătura cu acțiunile?



Sediul SEC, Washington, D.C.

Foto: David (dbking) (2008); CC BY 2.0; Wikimedia Commons

Volatilitatea și ponderea weekendului în jurul ETF-urilor



- Stînga: volatilitatea Bitcoin pe ferestre de 90 de zile, anualizată cu $\sqrt{365}$. Dreapta: ponderea weekendului în suma pătratelor randamentelor, pe ani (2/7 dacă fiecare zi ar avea aceeași varianță)
- Interpretare: volatilitatea a continuat să scadă după ianuarie 2024, dar era deja în scădere înainte; ponderea weekendului este mult sub 2/7 din 2020

SFM_ch14_bubbles_etf

Bitcoin înainte și după lansarea ETF-urilor spot

Bitcoin	doi ani înainte	doi ani după
volatilitatea anuală (%)	55,2	47,5
varianța weekend/zile lucrătoare	0,30	0,42
corelația cu S&P 500	0,45	0,37
GARCH(1,1)-t $\hat{\alpha} + \hat{\beta}$	1,000	0,97

- Ferestrele: 11 ianuarie 2022 – 10 ianuarie 2024 (729 de zile) și 11 ianuarie 2024 – 10 ianuarie 2026 (730 de zile)
- Testul Brown–Forsythe al egalității varianțelor: statistica 1,22, p = 0,27: scăderea volatilității nu este semnificativă
- Interpretare
  - o comparație înainte–după nu este un efect cauzal: dobînzile, halving-ul din aprilie 2024 și alegerile din SUA s-au schimbat în același timp
  - un studiu credibil are nevoie de un grup de control (de exemplu monede fără ETF) sau de date intrazilnice în jurul deschiderii bursei

Eroarea de replicare a unui ETF spot pe Bitcoin

- IBIT (iShares Bitcoin Trust), închiderea ajustată, și Bitcoin, prețuri unite în cele 671 de zile de tranzacționare ale ETF-ului
  - corelația randamentelor zilnice 0,91; panta IBIT în funcție de Bitcoin 0,94
  - **tracking error**: abaterea standard anualizată a diferenței de randament, 20,8%
- Explicația abaterii de la 1: cele două închideri sînt la patru ore distanță (ora 16:00 la New York față de miezul nopții UTC)
  - pe o săptămînă diferența se compensează; fondul deține Bitcoin unu la unu, minus un comision mic
- Lecția: un tracking error mare poate fi un artefact de măsurare; aliniem orele înainte de a judeca un fond

Stablecoins: definiție și tipuri

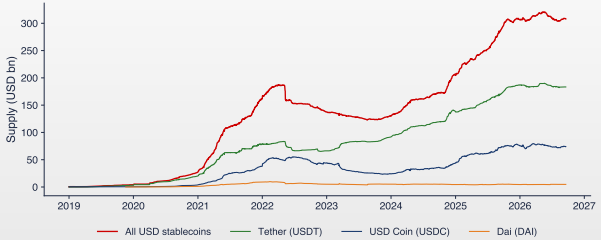
Tipul	cum se menține paritatea	exemple	riscul
garantat cu monedă fiduciară (fiat-backed)	rezerve în dolari, depozite și titluri de stat; deținătorii răscumpără 1 monedă pentru 1 USD la emitent	USDT, USDC	rezervele și banca la care sînt păstrate
garantat cu active cripto (crypto-backed)	credite supra-garantate cu active cripto, lichidate automat de contracte inteligente	DAI	o prăbușire a garanției
algoritmic	fără rezerve: un algoritm emite și retrage din circulație (burn) o a doua monedă pentru a ține prețul la 1 USD	UST (Terra)	o retragere masivă (run) care distruge ambele monede

- **Stablecoin**: un activ cripto conceput să păstreze un preț fix, de obicei 1 USD (**paritatea**, peg)
  - folosit ca numerar pe exchange-uri și pentru plăți transfrontaliere; DefiLlama clasifică azi 91,3% din ofertă ca garantată fiat și 8,7% ca garantată cripto

Menținerea parității: arbitrajul

- Piața primară: tranzacționari autorizați creează o monedă pentru 1 USD la emitent sau o răscumpără pentru 1 USD
  - prețul 0,99 pe exchange-uri: cumpărăm la 0,99, răscumpărăm la 1,00, profit 1 cent: cererea împinge prețul înapoi în sus
  - prețul 1,01: creăm la 1,00, vindem la 1,01: oferta împinge prețul în jos
- Lyons & Viswanath-Natraj (2023): paritatea Tether se menține prin acest arbitraj; prime apar cînd investitorii se refugiază în stablecoins în perioadele de scădere cripto
  - Ma, Zeng & Zhang (2025): cu puțini arbitrajori autorizați, retragerile masive sînt mai puțin probabile, dar abaterile durează mai mult
- Arbitrajul funcționează doar cîtă vreme investitorii cred că răscumpărarea la 1 USD va fi onorată: o paritate este o promisiune

Oferta de stablecoins



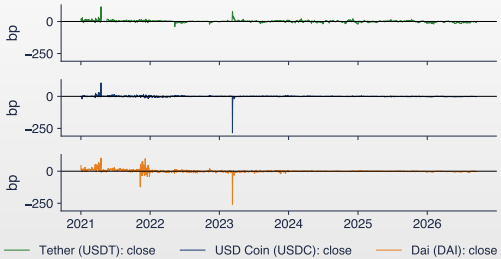
- Oferta în circulație, în miliarde USD (DefiLlama): toate stablecoin-urile în USD, USDT, USDC și DAI
- Interpretare: de la 4,2 miliarde USD la începutul lui 2020 la 308 miliarde pe 18 septembrie 2026, de 74 de ori mai mult; USDT deține 60%, USDC 24%
- Totalul a scăzut de la 187 de miliarde (2 aprilie 2022) la 123 de miliarde (19 august 2023) după Terra și FTX; USDC a scăzut de la 43 la 24 de miliarde în 2023

SFM_ch14_stablecoins

Abaterea de la paritate în puncte de bază

- **Punct de bază** (bp, basis point): o sutime de procent, $0{,}01\% = 0{,}0001$
  - **abaterea de la paritate**: $d_t = 10\,000\,(P_t - 1)$ bp pentru o monedă cu paritatea 1 USD; P_t: prețul ei în USD în ziua t
  - $d_t < 0$: moneda se tranzacționează sub paritate; $d_t > 0$: peste paritate
- **Exemplu lucrat**: USDC s-a închis la 0,9715 USD pe 11 martie 2023
  - $d = 10\,000 \times (0{,}9715 - 1) = -285$ bp, o pierdere de 2,85%
  - un deținător de 1 000 000 USDC care a vîndut la acea închidere a pierdut 28 500 USD; la minimul zilei (0,8774): 122 600 USD
- Statisticile unei paritățI: abaterea absolută mediană, proporția zilelor peste 10 sau 50 bp, cea mai proastă închidere și cel mai prost minim
  - viteza revenirii: AR(1) $d_t = \phi\, d_{t-1} + e_t$, timpul de înjumătățire $\ln 0{,}5 / \ln \phi$ zile
  - $\phi \in (0, 1)$: fracțiunea din abaterea de azi care persistă mîine; e_t: un șoc nou; un ϕ mic înseamnă o revenire rapidă la paritate

Abaterile de la paritate pentru USDT, USDC și DAI



- Abaterea zilnică a închiderii de la 1 USD, în bp, din 2021 (EODHD)
- Abaterea absolută mediană: USDT 3,1 bp, USDC 1,1 bp, DAI 2,2 bp; zile peste 10 bp: 11,4%; 1,5%; 10,7%
- Interpretare: timpi de înjumătățire de 2,2; 0,6 și 0,6 zile: abaterile se închid în cîteva zile; excepția este martie 2023 (USDC −285 bp, DAI −261 bp)

SFM_ch14_stablecoins

Martie 2023: USDC și Silicon Valley Bank

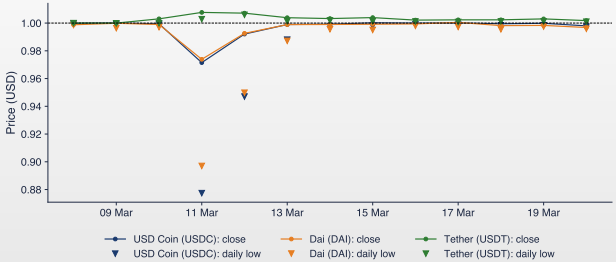
- 10 martie 2023: Silicon Valley Bank (SVB) este închisă de autoritatea de supraveghere FDIC (2023); o parte din rezervele în numerar ale USDC erau depuse acolo
  - urmează un weekend: băncile sînt închise, piețele cripto sînt deschise
- 11 martie: USDC scade la 0,8774 USD (minim, −1226 bp) și se închide la 0,9715; DAI, garantat în mare parte cu USDC, îl urmează
  - USDT se tranzacționează peste 1 (închidere de pînă la 77 bp): capitalul se mută de la un stablecoin la altul
- 12 martie, seara: autoritățile americane garantează toate depozitele SVB U.S. Treasury, Federal Reserve & FDIC (2023); pe 13 martie USDC revine la paritate



Sediul SVB, Santa Clara, 13 martie 2023

Foto: Minh Nguyen (2023); CC BY-SA 4.0; Wikimedia Commons

Depeg-ul USDC, zi de zi



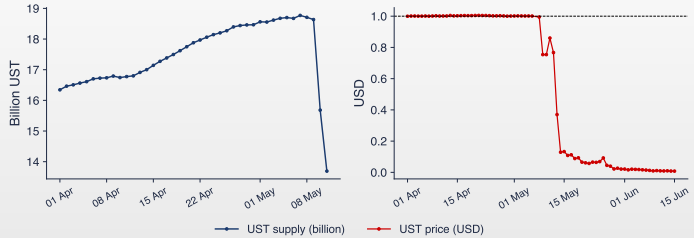
- Închideri zilnice (cercuri) și minime (triunghiuri), 8–20 martie 2023; linia întreruptă: paritatea
- Interpretare: o monedă garantată fiat este la fel de sigură ca banca ei: paritatea s-a rupt cînd rezervele au fost puse sub semnul întrebării și a revenit cînd depozitele au fost garantate; retragerea a vizat rezervele, nu codul

SFM_ch14_stablecoins

TerraUSD: un stablecoin algoritmic

- UST era ținut la 1 USD printr-un schimb cu o a doua monedă, LUNA: 1 UST putea fi schimbat oricînd pe LUNA în valoare de 1 USD
  - UST sub 1: cumpărăm UST, îl schimbăm pe LUNA nou în valoare de 1 USD, vindem LUNA: UST este retras din circulație (burn), LUNA este emis
  - singura garanție era valoarea de piață a LUNA
- Cererea venea de la protocolul Anchor, care plătea aproape 20% pe an pentru depozitele în UST Liu, Makarov & Schoar (2023)
  - oferta de UST a atins maximul de 18,8 miliarde pe 7 mai 2022
- **Spirala morții** (death spiral): retrageri mari din Anchor, UST sub 1, se emite mai mult LUNA, LUNA scade, garanția se micșorează, urmează și mai multe retrageri
  - Liu, Makarov & Schoar (2023): deținătorii mari și sofisticați s-au retras primii; deținătorii mici au plecat ultimii

Prăbușirea UST, mai 2022



- DefiLlama: oferta de UST pînă în ultima zi publicată (11 mai 2022) și prețul zilnic al UST
- Interpretare: prețul era 0,75 USD pe 9 mai, 0,37 pe 13 mai, 0,13 pe 14 mai și 0,02 pe 31 mai; oferta a scăzut cu 27% în patru zile, între 7 și 11 mai
- Spre deosebire de USDC, nu exista nicio rezervă și niciun creditor de ultimă instanță: o paritate algoritmică nu poate fi salvată

SFM_ch14_stablecoins

Stablecoins ca monedă privată

- Gorton & Zhang (2021): stablecoins seamănă cu bancnotele băncilor private americane din perioada „wildcat banking" (1837–1863)
  - bancnotele diferitelor bănci se tranzacționau cu reduceri diferite, după încrederea în fiecare bancă
  - remediul de atunci: o monedă națională uniformă; remediul propus acum: reglementarea stablecoins ca depozite bancare
- Gorton et al. (2022): paritatea se menține cîtă vreme deținătorii prețuiesc moneda pentru tranzacții cu levier pe piețele cripto
  - cînd această cerere dispare, moneda se tranzacționează sub paritate, ca bancnota unei bănci nesigure
- Lecția statistică: abaterile de la paritate sînt mici și scurte în perioadele normale și cresc brusc în criză: o serie cu cozi groase, dependentă de regim

Reglementarea în Uniunea Europeană: MiCA

- MiCA, Markets in Crypto-Assets Regulamentul (EU) 2023/1114 (MiCA), adoptat în 2023
  - regulile pentru stablecoins se aplică din 30 iunie 2024; pentru celelalte servicii cu active cripto din 30 decembrie 2024 ESMA: MiCA
- Stablecoins legate de o singură monedă sînt **token-uri de monedă electronică** (e-money tokens)
  - emise doar de instituții de credit sau de monedă electronică autorizate; răscumpărare la paritate oricînd; fără dobîndă pentru deținători
  - rezervele sînt separate și investite în active sigure și lichide
- Stablecoins algoritmice fără rezerve nu au loc în acest cadru



Parlamentul European, Strasbourg

Foto: jeffowenphotos (2010); CC BY 2.0; Wikimedia Commons

Reglementarea în SUA: GENIUS Act

- GENIUS Act (Guiding and Establishing National Innovation for U.S. Stablecoins Act), semnat pe 18 iulie 2025 GENIUS Act, Public Law 119-27
  - stablecoins de plată: rezerve de cel puțin 1 USD pentru fiecare monedă, în numerar, depozite și titluri de stat pe termen scurt
  - rapoarte publice lunare despre rezerve; fără dobîndă plătită deținătorilor
- Puncte comune ale MiCA și GENIUS: rezerve complete, răscumpărare la paritate, supravegherea emitenților
  - răspund retragerii masive din martie 2023 și prăbușirii algoritmice din mai 2022
- Un stablecoin cu rezerve complete este apropiat de o bancă îngustă (narrow bank): sigur, dar emitentul cîștigă dobînda la rezerve



Capitoliul SUA, Washington, D.C.

Foto: Architect of the Capitol; domeniu public; Wikimedia Commons

VaR 1% și ES 2,5% în dolari

- Capitolul 10: $\mathrm{VaR}_\alpha = -q_\alpha$, pierderea depășită cu probabilitatea α (VaR 1%); $\mathrm{ES}_\alpha = -E[r \mid r \leq q_\alpha]$ (ES 2,5%)
  - q_α: cuantila de ordin α a randamentului zilnic r; $E[r \mid r \leq q_\alpha]$: randamentul mediu în zilele de dincolo de cuantilă
  - simularea istorică (HS), distribuția Normală, Student-t (verosimilitate maximă), GARCH(1,1)-t pentru ziua următoare
- De la randamente logaritmice la dolari: un randament logaritmic de $-v\%$ înseamnă o pierdere $W(1 - e^{-v/100})$ pentru o poziție cu valoarea W
  - Bitcoin, HS: VaR 1% $= 10{,}54\%$; $W = 100\,000$ USD: $100\,000 \times (1 - 0{,}8999) = 10\,006$ USD
- Orizontul: activele cripto se tranzacționează zilnic, deci un VaR pe 10 zile acoperă 10 zile calendaristice, nu două săptămîni de tranzacționare

VaR 1% și ES 2,5% prin patru metode

	VaR 1% (%)				ES 2,5% (%)			
	HS	Normală	t	GARCH-t	HS	Normală	t	GARCH-t
Bitcoin	10,54	7,99	11,06	7,37	10,84	8,03	13,37	8,11
Ethereum	14,29	11,40	15,39	10,95	14,77	11,45	18,13	12,05
S&P 500	3,26	2,54	3,04	1,78	3,50	2,55	3,45	1,86

Poziție de 100 000 USD	VaR 1% HS	ES 2,5% HS	VaR 1% Normal	VaR 1% HS pe 10 zile
Bitcoin	10 006	10 277	7 679	25 563
Ethereum	13 312	13 732	10 772	31 842
S&P 500	3 204	3 438	2 506	9 049

- Eșantioanele complete pînă pe 18 septembrie 2026; t: Student-t prin verosimilitate maximă ($\hat{\nu} = 2{,}23$ pentru Bitcoin); GARCH-t: prognoza pentru ziua următoare ($\hat{\sigma} = 2{,}83\%$)

Interpretarea cifrelor de risc

- O poziție în Bitcoin este de circa trei ori mai riscantă decît una în S&P 500: VaR 1% 10,54% față de 3,26%
  - VaR 1% Normal este cu 24% sub cel istoric pentru Bitcoin: din nou cozile groase
- Condiționat față de necondiționat: GARCH-t dă azi 7,37%, sub valoarea istorică de 10,54%, deoarece volatilitatea este acum scăzută
  - cifra istorică este o medie pe termen lung; cifra GARCH este riscul de azi
- 10 zile: VaR 1% istoric al randamentelor pe 10 zile este 29,52%; regula rădăcinii pătrate a timpului dă 33,34%
  - regula rădăcinii pătrate a timpului: $\mathrm{VaR}(h \text{ zile}) = \sqrt{h}\,\mathrm{VaR}(1 \text{ zi})$, exactă doar pentru randamente Normale i.i.d.
  - regula supraestimează: cu tail index-ul $\alpha > 2$, o cuantilă extremă a sumei a h randamente crește aproximativ ca $h^{1/\alpha}$, mai lent decît $\sqrt{h}$
- ES 2,5% (HS) este apropiat de VaR 1% (HS) pentru Bitcoin, ca în Capitolul 10 pentru acțiuni

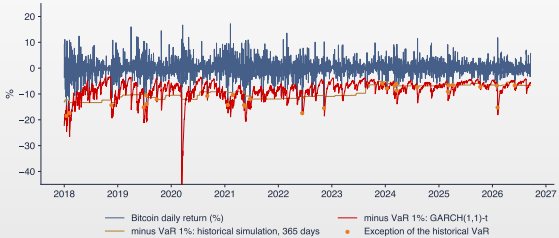
Backtesting: testul Kupiec

- **Depășire**: o zi cu $r_{t+1} < -\widehat{\mathrm{VaR}}_t$; x depășiri în n zile, rata observată $\hat{\pi} = x/n$
  - cu un VaR 1% corect, fiecare zi este o depășire cu probabilitatea $\alpha = 0{,}01$: se așteaptă circa αn depășiri
- **Testul Kupiec** Kupiec (1995): este rata depășirilor egală cu α?

$$LR_{uc} = -2 \ln \frac{(1-\alpha)^{n-x} \alpha^x}{(1-\hat{\pi})^{n-x} \hat{\pi}^x}$$

- Interpretarea
  - numărătorul: verosimilitatea celor x depășiri cu rata α; numitorul: cu rata observată $\hat{\pi}$
  - $LR_{uc} \sim \chi^2(1)$ dacă rata este α; respingem la 5% dacă $LR_{uc} > 3{,}84$ (p-value sub 0,05)
  - testul numără doar depășirile; gruparea lor cere testul Christoffersen (Capitolul 10)

Backtesting pentru VaR 1% al Bitcoin



- Prognoze pe o zi din 1 ianuarie 2018: HS pe ultimele 365 de zile; GARCH(1,1)-t reestimat la fiecare 365 de zile pe toate datele anterioare
- Depășiri (așteptat 31,8): HS 29 (0,91%), GARCH-t 41 (1,29%); Kupiec: $LR_{uc} = 0{,}26$ ($p = 0{,}61$) și 2,45 ($p = 0{,}12$)
- Interpretare: ambele trec testul Kupiec; HS cere în medie un VaR mai mare (9,5% față de 8,5%), GARCH-t reacționează mai repede, dar este depășit mai des (2018: 9 depășiri)

SFM_ch14_crypto_var

O întrebare de cercetare deschisă

- **Influențează fluxurile de stablecoins prețurile activelor cripto?**
  - Griffin & Shams (2020) au găsit că emisiunea de Tether a susținut Bitcoin în 2017; piața stablecoin-urilor este acum de circa 74 de ori mai mare decît în 2020
  - rezultat de pornire: variația logaritmică săptămînală a ofertei de stablecoins față de randamentul Bitcoin, 349 de săptămîni din 2020
- Aceeași săptămînă: corelația 0,26; săptămîna următoare: 0,07, panta 0,19 ($t = 1{,}20$, p $= 0{,}23$, $R^2 = 0{,}4\%$)
  - fluxurile și prețurile se mișcă împreună; fluxurile nu prognozează săptămîna următoare: cauză, efect sau cerere comună?
- Instrumentele AI pot accelera un astfel de studiu; nu înlocuiesc verificarea lui Wang et al. (2023)

Utilizări posibile ale instrumentelor AI

- **Literatura**: o listă a studiilor despre emisiunea de stablecoins și prețurile cripto, cu datele și perioadele lor
- **Date**: cod care descarcă oferta fiecărui stablecoin de la DefiLlama și o aliniază cu prețurile zilnice
- **Robustețe**: date zilnice și săptămînale, USDT și USDC separat, subperioade, cauzalitate Granger în ambele direcții
- Exemplu de prompt
  - `Write Python code that downloads the daily supply of USDT and USDC from the DefiLlama stablecoins API, computes weekly log changes, joins them with weekly Bitcoin log returns, and tests whether supply changes Granger-cause returns and returns Granger-cause supply changes, with HAC standard errors.`

Verificări necesare

- Anualizarea: 365 de zile pentru cripto, 252 pentru acțiuni; niciodată o singură valoare pentru ambele
- Alinierea: prețurile unite în zilele comune înainte de randamente; aceeași definiție a săptămînii pentru ambele serii
- Unitățile: puncte de bază față de procente (285 bp $= 2{,}85\%$); miliarde față de milioane în datele de ofertă
- Convenția VaR: VaR 1% este o pierdere pozitivă; niciodată „VaR 99%”
- Look-ahead: seria ofertei trebuie să fie cunoscută la data prognozei; revizuirile furnizorului de date contează
- Referințele: fiecare lucrare citată trebuie să existe; verificați DOI-ul

Idee de proiect

- **Întrebarea**: ajută variațiile săptămînale ale ofertei de USDT și USDC la prognoza randamentului sau a volatilității Bitcoin și s-a schimbat acest lucru după ETF-urile spot?
  - date: oferta de la DefiLlama (publică, fără cheie) și datele cursului pentru prețuri
- Pași
  - variații logaritmice săptămînale; corelația și testele Granger în ambele direcții, cu erori standard HAC
  - prognoze în afara eșantionului pentru randamentul și pentru randamentul absolut din săptămîna următoare, comparate cu un mers aleator
  - subperioade: înainte și după Terra (mai 2022) și ETF-urile spot (ianuarie 2024)
- Livrabil: un tabel, un grafic și un paragraf despre ce pot și ce nu pot arăta datele
- Declarați orice utilizare a instrumentelor AI și enumerați erorile acestora pe care le-ați corectat

Idei de reținut

- Bitcoin: un registru public securizat prin proof of work, cu o ofertă fixă de 21 de milioane; Ethereum execută contracte inteligente prin proof of stake
- Anualizăm cu 365 de zile; volatilitatea cripto este de 3,8 pînă la 6,7 ori cea a S&P 500, cu cozi groase și volatility clustering de tip IGARCH
- Testele VR robuste nu resping eficiența în formă slabă din 2014; weekendul este mai calm în varianță, nu diferit în medie
- Corelația cu acțiunile a crescut de la circa 0 la circa 0,39 după 2020; Bitcoin nu este un activ de refugiu
- Drawdown-urile de peste 50% sînt obișnuite; efectul ETF-urilor asupra volatilității nu este semnificativ
- Stablecoins își mențin paritatea prin arbitraj și rezerve; USDC în 2023 și UST în 2022 arată cele două moduri în care se rupe o paritate

Formule de reținut

Mărimea	Formula
Oferta de Bitcoin	$210\,000 \times 50 \times \sum_{j \geq \mathbf{0}} 2^{-j} = 21$ milioane
Anualizarea	media $A\bar{r}$, volatilitatea $\sqrt{A}\, s$; $A = 365$ (cripto), 252 (acțiuni)
Hill	$\hat{\alpha} = \left[\frac{\mathbf{1}}{k} \sum_{i \leq k} \ln(X_{(i)}/X_{(k+\mathbf{1})}) \right]^{-\mathbf{1}}$
GARCH(1,1)	$\sigma_t^{\mathbf{2}} = \omega + \alpha \varepsilon_{t-\mathbf{1}}^{\mathbf{2}} + \beta \sigma_{t-\mathbf{1}}^{\mathbf{2}}$, înjumătățire $\frac{\ln \mathbf{0,5}}{\ln(\alpha+\beta)}$
Raportul variațelor	$\mathrm{VR}(q) = \mathrm{Var}(r_t + \cdots + r_{t-q+\mathbf{1}})/(q\,\mathrm{Var}(r_t))$
Drawdown	$D_t = P_t / \max_{s \leq t} P_s - 1$; cîștigul de recuperare $d/(1-d)$
Abaterea de la paritate	$d_t = 10\,000\,(P_t - 1)$ bp; înjumătățire $\ln 0{,}5 / \ln \phi$
VaR în bani	$W(\mathbf{1} - e^{-\mathrm{VaR}/\mathbf{100}})$, $\mathrm{VaR}_\alpha = -q_\alpha$

Autoevaluare

- **Întrebare**: un fond raportează o volatilitate anuală a Bitcoin de 55% pornind de la o abatere standard zilnică de 3,5%. Este corect?
  - **Răspuns**: nu: $3{,}5 \times \sqrt{252} \approx 55{,}6\%$; cu 365 de zile se obține $3{,}5 \times \sqrt{365} \approx 66{,}9\%$
- **Întrebare**: USDT se închide la 1,0040 USD. Cît este abaterea de la paritate?
  - **Răspuns**: $10\,000 \times 0{,}0040 = 40$ bp peste paritate: cererea de USDT depășește ce a furnizat arbitrajul
- **Întrebare**: de ce s-a pierdut UST, în timp ce USDC a revenit la paritate?
  - **Răspuns**: USDC avea rezerve în dolari, ale căror depozite bancare au fost garantate; UST era garantat doar de LUNA, a cărei valoare a scăzut odată cu UST
- Lecturi suplimentare ale autorului cursului: Pele et al. (2023) (sînt activele cripto active alternative?) și Pele & Mazurencu-Marinescu-Pele (2019) (VaR pentru Bitcoin)
- Urmează: Capitolul 15, riscul sistemic

Bibliografie (1/3)

- Baur, D.G., Hong, K., Lee, A.D. (2018). Bitcoin: medium of exchange or speculative assets? *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 54, 177–189.
- Baur, D.G., Lucey, B.M. (2010). Is gold a hedge or a safe haven? An analysis of stocks, bonds and gold. *Financial Review*, 45(2), 217–229.
- Bollerslev, T. (1986). Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*, 31(3), 307–327.
- Buterin, V. (2014). Ethereum: a next-generation smart contract and decentralized application platform. White paper.
- Caporale, G.M., Plastun, A. (2019). The day of the week effect in the cryptocurrency market. *Finance Research Letters*, 31, 258–269.
- Cheah, E.-T., Fry, J. (2015). Speculative bubbles in Bitcoin markets? An empirical investigation into the fundamental value of Bitcoin. *Economics Letters*, 130, 32–36.
- European Union (2023). Regulation (EU) 2023/1114 on markets in crypto-assets (MiCA). *Official Journal of the European Union*, L 150, 40–205.
- Fama, E.F. (1970). Efficient capital markets: a review of theory and empirical work. *Journal of Finance*, 25(2), 383–417.
- Franke, J., Härdle, W.K., Hafner, C.M. (2019). *Statistics of Financial Markets: An Introduction*, 5th ed. Springer.
- Gandal, N., Hamrick, J.T., Moore, T., Oberman, T. (2018). Price manipulation in the Bitcoin ecosystem. *Journal of Monetary Economics*, 95, 86–96.
- Gorton, G.B., Klee, E.C., Ross, C.P., Ross, S.Y., Vardoulakis, A.P. (2022). Leverage and stablecoin pegs. NBER Working Paper 30796.
- Gorton, G.B., Zhang, J. (2021). Taming wildcat stablecoins. SSRN Working Paper 3888752; published in *University of Chicago Law Review*, 90(3), 2023.

Bibliografie (2/3)

- Griffin, J.M., Shams, A. (2020). Is Bitcoin really untethered? *Journal of Finance*, 75(4), 1913–1964.
- Hill, B.M. (1975). A simple general approach to inference about the tail of a distribution. *Annals of Statistics*, 3(5), 1163–1174.
- Härdle, W.K., Harvey, C.R., Reule, R.C.G. (2020). Understanding cryptocurrencies. *Journal of Financial Econometrics*, 18(2), 181–208.
- Johansen, A., Ledoit, O., Sornette, D. (2000). Crashes as critical points. *International Journal of Theoretical and Applied Finance*, 3(2), 219–255.
- Katsiampa, P. (2017). Volatility estimation for Bitcoin: a comparison of GARCH models. *Economics Letters*, 158, 3–6.
- Kupiec, P.H. (1995). Techniques for verifying the accuracy of risk measurement models. *Journal of Derivatives*, 3(2), 73–84.
- Liu, J., Makarov, I., Schoar, A. (2023). Anatomy of a run: the Terra Luna crash. NBER Working Paper 31160.
- Liu, Y., Tsyvinski, A. (2021). Risks and returns of cryptocurrency. *Review of Financial Studies*, 34(6), 2689–2727.
- Liu, Y., Tsyvinski, A., Wu, X. (2022). Common risk factors in cryptocurrency. *Journal of Finance*, 77(2), 1133–1177.
- Lo, A.W., MacKinlay, A.C. (1988). Stock market prices do not follow random walks: evidence from a simple specification test. *Review of Financial Studies*, 1(1), 41–66.
- Lyons, R.K., Viswanath-Natraj, G. (2023). What keeps stablecoins stable? *Journal of International Money and Finance*, 131, 102777.
- Ma, Y., Zeng, Y., Zhang, A.L. (2025). Stablecoin runs and the centralization of arbitrage. NBER Working Paper 33882.

Bibliografie (3/3)

- Makarov, I., Schoar, A. (2020). Trading and arbitrage in cryptocurrency markets. *Journal of Financial Economics*, 135(2), 293–319.
- Nadarajah, S., Chu, J. (2017). On the inefficiency of Bitcoin. *Economics Letters*, 150, 6–9.
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: a peer-to-peer electronic cash system. White paper.
- Pele, D.T., Mazurencu-Marinescu-Pele, M. (2019). Using high-frequency entropy to forecast Bitcoin's daily value at risk. *Entropy*, 21(2), 102.
- Pele, D.T., Wesselhöfft, N., Härdle, W.K., Kolossiatis, M., Yatracos, Y.G. (2023). Are cryptos becoming alternative assets? *European Journal of Finance*, 29(10), 1064–1105.
- SEC, U.S. Securities and Exchange Commission (2024). Statement on the approval of spot Bitcoin exchange-traded products, 10 January 2024.
- Tran, V.L., Leirvik, T. (2020). Efficiency in the markets of crypto-currencies. *Finance Research Letters*, 35, 101382.
- Trimborn, S., Härdle, W.K. (2018). CRIX an index for cryptocurrencies. *Journal of Empirical Finance*, 49, 107–122.
- U.S. Treasury, Federal Reserve & FDIC (2023). Joint statement by the Department of the Treasury, Federal Reserve, and FDIC, 12 March 2023.
- United States Congress (2025). Guiding and Establishing National Innovation for U.S. Stablecoins Act (GENIUS Act), Public Law 119-27.
- Urquhart, A. (2016). The inefficiency of Bitcoin. *Economics Letters*, 148, 80–82.
- Wang, H., Fu, T., Du, Y., Gao, W., et al. (2023). Scientific discovery in the age of artificial intelligence. *Nature*, 620, 47–60.