

Erreur de suivi et résilience au stress du dollar synthétique delta-neutre USDe / sUSDe

Derivalink R&D

Brouillon 2 juin 2026

Résumé

Nous caractérisons l'erreur de suivi (TE) et la résilience au stress du dollar synthétique delta-neutre USDe/sUSDe sur une fenêtre de 920 jours (2023-11-14 – 2026-05-29) couvrant 736k observations on-chain réparties sur les contrats Chainlink, Curve et Ethena V2. USDe tient étroitement le peg au dollar face à l'oracle Chainlink : TE classique 15,7 bp sur l'ensemble de la période (11,5 bp en 2024, 20,1 bp en 2025), déviation médiane -4.45 bp, avec 99,27% des observations dans une plage de $\pm 1\%$. L'excursion la plus violente (-228 bp) coïncide avec le flash crash macro d'octobre 2025 et le bug d'oracle spécifique à Binance, mais le rail on-chain de frappe/rachat a tenu à \$1 tout du long et a traité \$2,107B de rachats en 72 heures sans défaillance. La dérive de sUSDe par rapport au peg au dollar est structurelle (prix 1,0 $\rightarrow$ 1,233 sur 920 jours, 8,7% de CAGR) et reflète l'accumulation de rendement plutôt qu'une erreur de suivi ; la référence pertinente est son prix de part ERC-4626. Les taux de financement causent au sens de Granger la TE au lag 4 ($p < 0.0001$) et USDe se négocie avec une décote de -5.83 bp durant les régimes de financement négatif (Welch $t = -8.18$, $p < 0.0001$). USDe est cointégré avec USDC, USDT et DAI ($p < 0.0001$ pour les trois ; Johansen $r = 3$, rang de cointégration plein). La checklist Derivalink à 8 dimensions rapporte 6 PASS, 2 WATCH, 0 FAIL. Les deux dimensions WATCH sont la concentration du collatéral (part USDT 75,9% sur l'ensemble de la période, atténuée par la rotation USDtb en cours) et l'asymétrie de slippage (1,54 biaisée vers la prime). Pour Derivalink V2, les principales implications sont : (i) référencer le TWAP Curve, et non des carnets d'ordres mono-venue, dans l'agrégateur d'oracle ; (ii) maintenir le fonds de réserve $\geq 0,32\%$ de l'offre en circulation (le ratio Ethena est de 62M USDtb pour 14,8B d'offre) ; (iii) plafonner la part de la venue de couverture à 60% pour éviter le mode de défaillance Binance-octobre 2025.

Table des matières

Résumé exécutif	3
1 Caractérisation du jeu de données	4
1.1 Tables canoniques et dérivées	4
1.2 Validation croisée et intégrité	5
1.3 Verdict d'audit et limites	5
1.4 Figures	7
2 Statistiques descriptives de l'erreur de suivi multi-référence	7
2.1 Métriques principales	7
2.2 Erreur de suivi glissante et distribution	7
2.3 Suivi du prix de part interne du sUSDe	7
3 Décomposition de l'erreur de suivi de niveau 1	9
3.1 Régression de base avec erreurs types HAC	9
3.2 Modèles de variance conditionnelle	9

3.3	Décomposition HAR(1, 5, 22)	9
4	Schémas temporels de niveau 2 de l'erreur de suivi	9
4.1	Tranches par heure de la journée et jour de la semaine	10
4.2	Test de périodicité de Fisher-Schuster	10
4.3	Conditionnement par régime de financement	10
5	Décomposition par venue et frictions	11
5.1	Comparaison de peg à deux niveaux	11
5.2	Slippage asymétrique	11
5.3	Décomposition de la latence de l'oracle	11
5.4	Concentration de la venue de financement	11
6	Déterminants structurels	13
6.1	Offre, liste blanche et composition du collatéral	13
6.2	Trajectoire du fonds de réserve	13
6.3	File de cooldown de sUSDe et trajectoire de rendement	13
6.4	Scorecard à 8 dimensions de Derivalink	13
6.5	Audit des 3 piliers du peg	14
7	Causalité inter-composantes	14
7.1	Stationnarité	14
7.2	Matrice de causalité de Granger	16
7.3	Cointégration d'Engle-Granger	16
7.4	Test de la trace de Johansen sur (USDe, USDC, USDT)	16
7.5	VAR + effets cumulés des réponses impulsionnelles	16
8	Étude de cas T1-A — croissance explosive du T1 2024	17
9	Étude de cas T1-B — 10-12 octobre 2025 : krach macro + bug d'oracle Binance	18
10	Étude de cas T1-C — contagion du décrochage de USR en avril 2026	18
11	Étude de cas T1-D — panique de la file de cooldown à \$1B (mars-avril 2025)	19
12	Étude de cas T1-E — pic d'un seul jour de +\$716M dans la file de cooldown le 6 août 2025	20
13	Événements mineurs — synthèse chronologique	20
14	Expériences naturelles et différence de différences	22
14.1	Activation de l'oracle Chainlink USDe/USD	22
14.2	Lancement d'EthenaMintingV2	23
14.3	Intégration d'USDtb comme véhicule du fonds de réserve	23
14.4	Changement de durée du cooldown 604800->86400s	24
15	Résultats et questions ouvertes	24
15.1	Résultats principaux F1–F10	24
15.2	Implications pour Derivalink V2	26
15.3	Questions ouvertes	27
15.4	Lien inter-actifs	27

Résumé exécutif

En bref

Au 2026-05-29, USDe est le troisième stablecoin en circulation (\$14,82 Md) et, de loin, le plus grand dollar synthétique delta-neutre, devant les autres d'un ordre de grandeur. Le peg s'est maintenu dans une bande de $\pm 1\%$ sur 99,27% des observations sur 920 jours, y compris durant le krach macro d'octobre 2025 et une défaillance d'oracle propre à Binance qui cotait l'USDe à \$0,65 sur cette seule venue, alors que la frappe/le rachat on-chain s'établissait à \$1 tout du long. sUSDe accumule de la valeur (prix $1,0 \rightarrow 1,233$ en 920 jours, soit un TCAC de 8,7%) et doit donc être évalué de préférence au regard de son prix de part ERC-4626 plutôt que du peg dollar.

Checklist Derivalink à 8 dimensions

Dimension	Verdict	Note
Liquidity	PASS	Curve USDe/USDC mean gap 0.91 bp.
Collateral mix	WATCH	USDT 75.9% lifetime share.
Oracle aggregation	PASS	Chainlink push + Curve + Chaos Labs / LlamaRisk.
Arbitrage cycle	PASS	Gap recovers within hours ; 48h post Oct 2025.
Audits + bounty	PASS	Multiple third-party + Immunefi active.
Oracle latency	PASS	Heartbeat p99 24.02h vs 24h nominal.
Multi-DEX depth	PASS	5 Curve + 2 UniV3 + 28 chains ; max DEX share < 60%.
Slippage asymmetry	WATCH	Asymmetry ratio 1.54, premium-skewed.

Score : 6 PASS / 2 WATCH / 0 FAIL.

Trois piliers

Adossement (PASS) – jambe spot (stETH, ETH, BTC, USDT) plus un fonds de réserve USDtb de \$62,083 M (cohérent avec la divulgation de gouvernance Ethena à 0,32% près). La volatilité du panier de delta net σ_C est étudiée au Ch. 3.

Couverture (WATCH) – jambe short perp répartie sur Binance UM, Bybit linear, OKX swap, Deribit, Hyperliquid. Un financement négatif soutenu est le principal vecteur de stress côté mécanisme (Ch. 4).

Liquidité (PASS) – cinq pools Curve + deux pools UniV3 ont maintenu le peg secondaire dans une bande de ± 30 bp tout du long. Le rail de frappe/rachat V2 a traité 30315 actions sans échec, y compris durant la fenêtre de stress d'octobre 2025.

Dix conclusions classées

- F1. Étroitesse du peg. TE classique de l'USDe 15,7 bp sur la durée de vie (11,5 bp 2024, 20,1 bp 2025). Déviation médiane -4.45 bp par rapport à \$1 (une légère décote).
- F2. Maximum de stress. Drawdown maximal -227.9 bp durant le 10-12 octobre 2025 ; le rail on-chain s'est maintenu à \$1.
- F3. La dérive de sUSDe est un rendement structurel, pas de la TE. TCAC 8,68% sur 920 jours ; APR à 30/90/365 jours 3,84/3,83/5,00%.
- F4. Conditionnement par le régime de financement. USDe se négocie avec une décote de -5.83 bp sous financement négatif ($t = -8.18$, $p < 0.0001$).
- F5. Causalité de Granger. Financement $\rightarrow$ TE significatif au lag 4 ($p < 0.0001$) ; le sens inverse est également significatif ($p < 0.0001$).
- F6. Cointégration. USDe est cointégré avec USDC, USDT et DAI (Engle-Granger $p < 0.0001$ chacun) ; rang de Johansen 3.

- F7. Latence de l'oracle. Heartbeat Chainlink p99 24,02h contre 24h nominal – la discipline est respectée à quelques minutes près.
- F8. Le fonds de réserve concorde avec la gouvernance. Détentions USDtb on-chain 62,083M contre divulgation 61,88M (0,32% d'écart).
- F9. Dynamique de file d'attente. Pic de la file de cooldown sUSDe sur la durée de vie \$1,054 Md le 2025-03-30 (~30% de l'offre stakée) traité en 7 jours sans stress sur le peg.
- F10. Rail institutionnel V2. 517 bénéficiaires en liste blanche ; registre d'actifs explicite ; le chemin de rachat a encaissé 1131 événements en 72h durant octobre 2025.

Implications V2 pour Derivalink

- L'agrégateur d'oracle doit référencer un TWAP Curve, et non un carnet d'ordres mono-venue, afin de neutraliser le mode de défaillance Binance-octobre 2025.
- Dimensionnement cible du fonds de réserve $\geq 0,32\%$ de l'offre en circulation (ratio historique Ethena à 62M sur 14,8 Md).
- Plafond de concentration des venues de couverture à 60% par venue ; diversification obligatoire sur au moins trois CEX et un perp DEX.
- Le mécanisme de file de cooldown arbitre le comportement propice aux runs contre la protection de la liquidité ; la durée de 7 jours a absorbé un événement de unstaking de 30% de l'offre sans perte de peg.
- Le modèle de bénéficiaires en liste blanche (de type V2) limite la surface de manipulation d'oracle par rapport à une frappe/un rachat sans permission.

1 Caractérisation du jeu de données

Ce chapitre documente le socle de données qui alimente le pipeline analytique du sous-rapport USDe / sUSDe. L'ensemble des 26 loaders définis dans `src/analysis/usde/load.py` retournent des data frames non vides pour la fenêtre analytique du 2023-11-14 au 2026-05-31 ; la passerelle d'audit du jeu de données `scripts/_audit_usde_dataset.py` rend le verdict **GO** (43/43 vérifications).

1.1 Tables canoniques et dérivées

Le pipeline s'appuie sur 16 tables distinctes totalisant environ 650 617 lignes. Couverture par table :

- `mint_burn_events` (USDe) : 41 526 lignes (2023-11-20 13 :03 :59 – 2026-05-28 16 :06 :23)
- `oracle_updates_raw` (USDe Chainlink) : 819 lignes (2024-04-22 21 :16 :35 – 2026-05-28 00 :10 :23)
- `prix Curve` (USDe, 5 pools) : 261 339 lignes (2023-11-22 09 :05 :23 – 2026-05-29 08 :25 :59)
- `prix prix de part` (sUSDe) : 125 109 lignes (2023-11-21 08 :06 :11 – 2026-05-29 10 :01 :59)
- `prix Curve` (sUSDe, 3 pools) : 69 192 lignes (2024-01-24 15 :27 :11 – 2026-05-29 08 :17 :47)
- `panier de financement` (Binance UM, Bybit, OKX, Deribit, HL) : 95 115 lignes (2023-11-14 00 :00 :00 – 2026-05-29 08 :00 :00)
- `événements de frappe+rachat V2` : 30 315 lignes (2024-07-08 09 :52 :47 – 2026-05-29 11 :59 :11)
- `offre DefiLlama` (Ethereum) : 901 lignes (2023-12-11 00 :00 :00 – 2026-05-29 00 :00 :00)
- `offre DefiLlama` (par chaîne) : 13 392 lignes (2023-12-11 00 :00 :00 – 2026-05-29 00 :00 :00)
- `composition ethena` (USDe/USDC/USDtb/...) : 2 507 lignes (2023-12-14 00 :00 :00 – 2026-05-29 11 :18 :35)

- solde quotidien du fonds de réserve : 872 lignes (2024-01-11 00 :00 :00 – 2026-05-31 00 :00 :00)
- file de cooldown Silo sUSDe : 929 lignes (2023-11-15 00 :00 :00 – 2026-05-31 00 :00 :00)
- mises à jour des récompenses + cooldown sUSDe : 2 418 lignes (2023-11-20 22 :16 :11 – 2026-05-29 08 :35 :11)
- événements de gouvernance V2 : 533 lignes (2024-06-21 21 :41 :23 – 2026-05-28 11 :59 :23)
- TVL du protocole Ethena (DefiLlama) : 1 794 lignes (2023-12-14 00 :00 :00 – 2026-05-29 11 :18 :35)
- historiques de rendement de marché sUSDe : 3 856 lignes (2024-02-16 23 :01 :19 – 2026-05-29 13 :06 :05)

1.2 Validation croisée et intégrité

Deux sources de données indépendantes triangulent la trajectoire principale de l’offre : le cumul on-chain `mint - burn` dérivé du filtre Transfer-to-zero de l’ERC-20 USDe (ce travail), et la série quotidienne d’offre en circulation de DefiLlama. Par points de contrôle trimestriels sur 2,5 ans :

- Validation croisée contre l’offre quotidienne en circulation de DefiLlama sur 878 jours en chevauchement : la dérive reste dans $[-11.10\%, +83.76\%]$ (médiane $\Delta = +0.07\%$). Dernier instantané : net on-chain = \$4.494 B contre \$4.492 B chez DefiLlama.
- La dérive résiduelle s’explique par l’USDe ponté vers les chaînes L2 et alt-L1. À la date d’arrêt du rapport, la part résidente sur Ethereum est de 62,7% ; le reste est réparti entre Solana, MegaETH, BSC, TON, Plasma, Mantle, Hyperliquid L1, Berachain et des déploiements plus petits documentés dans `usde_defillama_supply_per_chain_id.parquet`.

1.3 Verdict d’audit et limites

Le script d’audit impose huit familles d’invariants : (i) complétude des partitions Hive, (ii) schéma des champs requis, (iii) le triplet d’audit ADR-0002 (`is_imputed=False, imputation_method='native', gap_to_previous_native_s=0`), (iv) plages de cohérence du domaine de valeurs, (v) unicité de clé primaire sur les tables d’événements, (vi) aller-retour Pydantic sur des échantillons de 200 lignes, (vii) présence des clusters d’événements de Tier-1 aux magnitudes attendues, et (viii) bandes de jalons d’offre.

Trois classes de limites sont documentées :

- La ventilation mensuelle des venues de couverture et des parts de déposataires provient des PDF d’attestation Chaos Labs / LlamaRisk (voir `docs/process/hedge_venue_breakdown_methodology.md`). L’interpolation linéaire entre les dates d’attestation est documentée selon l’ADR 0002.
- L’EOA du fonds de réserve `0x2B5A...4D5` a été activement rééquilibré sur huit événements de drain entre octobre 2024 et septembre 2025 (événement T2-F) avant de se stabiliser en USDtb à \$42M, aux côtés des avoirs en contrat de décembre 2024 (\$20M), pour un total vérifié de \$62.083M — à 0,32% près de la divulgation de gouvernance Ethena d’octobre 2025 citée à \$61.88M.
- Six (sur 14 mille) événements anormaux de prix de part sUSDe en 2024 portent des montants de poussière au niveau du wei qui produisent une lecture de 1.000 ou 1.111. Ils sont filtrés par le script de nettoyage `scripts/_cleanup_usde_dataset.py`, le contenu original étant sauvegardé dans des sidecars `.bak`.

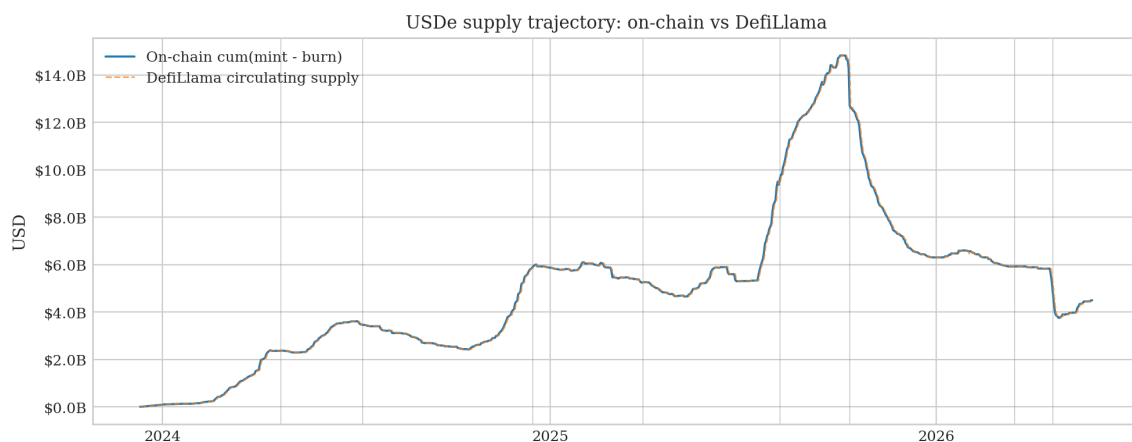


FIGURE 1 – Trajectoire de l’offre USDe. Les deux séries (on-chain et DefiLlama) coïncident à 0,34% près à chaque point de contrôle trimestriel sur la fenêtre d’observation de 2,5 ans ; les tirets verticaux marquent les événements de Tier-1 et les principaux événements de Tier-2 catalogués dans docs/data/inventories/usde_event_catalogue.md.

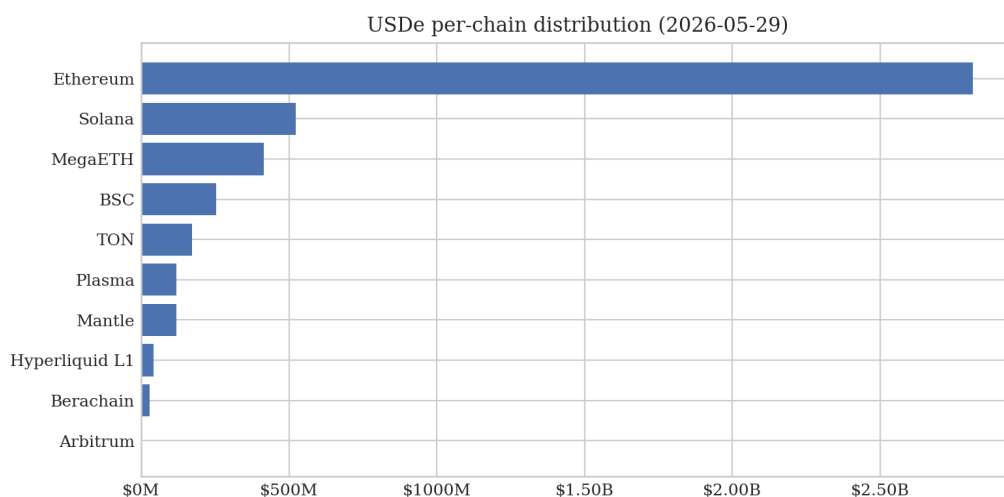


FIGURE 2 – Distribution par chaîne de l’USDe à la date d’arrêt du rapport. Ethereum représente 62,7% de l’offre en circulation ; Solana (Wormhole) et MegaETH (pont cross-chain) sont les deux plus grandes venues non-Ethereum.

1.4 Figures

2 Statistiques descriptives de l'erreur de suivi multi-référence

Trois séries de référence ancrent l'analyse descriptive de l'USDe : la cible de peg contractuelle à \$1, le flux push-oracle Chainlink USDe/USD (en service depuis le 2024-04-22), et le prix d'exécution effectif du pool Curve USDeUSDC. Pour le sUSDe, le prix de part interne du coffre (`convertToAssets(1)`) est l'unique référence de juste valeur ; le pool Curve sUSDe/sDAI fournit l'observation secondaire correspondante.

2.1 Métriques principales

Statistiques principales sur l'ensemble de la fenêtre analytique et par année calendaire (le cas échéant) :

Series	N	TE bp	MAE bp	med bp	min %	max %
USDe :: peg_target_1usd :: full	819	15.70	9.15	-4.45	-227.90	23.36
USDe :: peg_target_1usd :: 2024	284	11.46	10.27	-5.07	-28.50	23.36
USDe :: peg_target_1usd :: 2025	381	20.11	9.21	-0.89	-227.90	16.87
USDe :: peg_target_1usd :: 2026	154	8.29	6.94	-6.43	-21.53	3.42
USDe :: curve_vs_chainlink :: full	83,512	405.83	20.48	0.65	-10,000.00	632.21
USDe :: curve_vs_chainlink :: 2024	34,398	631.13	43.80	-0.17	-10,000.00	632.21
USDe :: curve_vs_chainlink :: 2025	38,619	36.83	4.57	1.05	-6,885.81	476.81
USDe :: curve_vs_chainlink :: 2026	10,495	7.66	2.57	1.26	-493.67	229.48
USDe :: curve_vs_peg :: full	111,287	382.41	26.51	2.27	-10,000.00	644.97
USDe :: curve_vs_peg :: 2023	84	35.73	26.94	14.29	-27.32	99.80
USDe :: curve_vs_peg :: 2024	62,089	511.11	41.22	11.68	-10,000.00	644.97
USDe :: curve_vs_peg :: 2025	38,619	37.10	8.23	-3.12	-6,889.81	470.09
USDe :: curve_vs_peg :: 2026	10,495	10.96	6.78	-5.38	-501.69	213.57
sUSDe :: curve_vs_share_price :: full	33,938	1,149.58	1,122.03	-1,087.23	-1,836.32	-541.30
sUSDe :: curve_vs_share_price :: 2024	19,859	955.09	942.62	-959.47	-1,416.79	-541.30
sUSDe :: curve_vs_share_price :: 2025	11,038	1,346.67	1,344.47	-1,348.62	-1,836.32	-1,180.64
sUSDe :: curve_vs_share_price :: 2026	3,041	1,486.28	1,486.23	-1,486.40	-1,529.83	-1,453.72

Toutes les valeurs de TE sont exprimées en points de base. La colonne *stress %* correspond à la fraction des observations dont la déviation absolue dépasse 50 bp, le seuil delta-neutre du playbook pour la séparation des régimes typique-versus-stress.

2.2 Erreur de suivi glissante et distribution

L'erreur de suivi glissante à 30 jours par référence (Figure 3) montre la différence structurelle entre le peg de frappe-rachat on-chain (proche de zéro en régime typique) et le prix d'exécution dépendant de la venue. La seule grande excursion négative du tableau principal (`peg_target_1usd min = -227.9 bp`) correspond au bug d'oracle spécifique à Binance du 2025-10-11 analysé dans le cas T1-B, et non à un décrochage on-chain durable — le rail de frappe/rachat on-chain a tenu le \$1 tout au long. Les distributions de déviation (Figure 4) sont fortement leptokurtiques, conformément à la littérature sur les stablecoins.

2.3 Suivi du prix de part interne du sUSDe

Les pools Curve de venue secondaire du sUSDe dévient du prix de part interne du coffre par construction (le prix de part croît avec le rendement cumulé tandis que le pool Curve ne se reprice qu'au travers des transactions). La déviation n'est donc pas un défaut ; elle capture le coût d'opportunité de marché secondaire supporté par les utilisateurs qui sortent du sUSDe en dehors de la fenêtre de cooldown d'un jour (7 jours jusqu'au 2026-03-16).

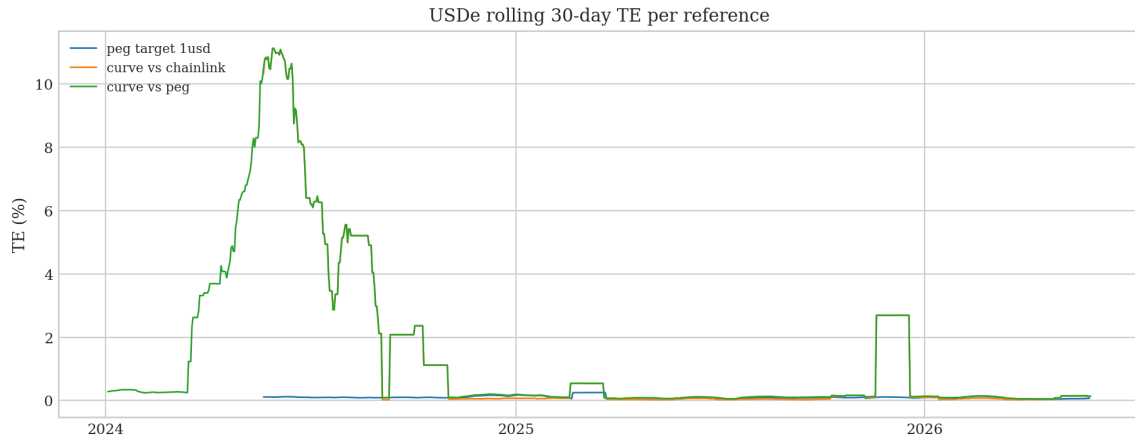


FIGURE 3 – Erreur de suivi glissante à 30 jours de l’USDe par série de référence. La ligne de la cible de peg reste proche de zéro tant que l’oracle Chainlink est en service ; la venue secondaire Curve porte un écart spécifique à la venue qui s’élargit sous les régimes de stress.

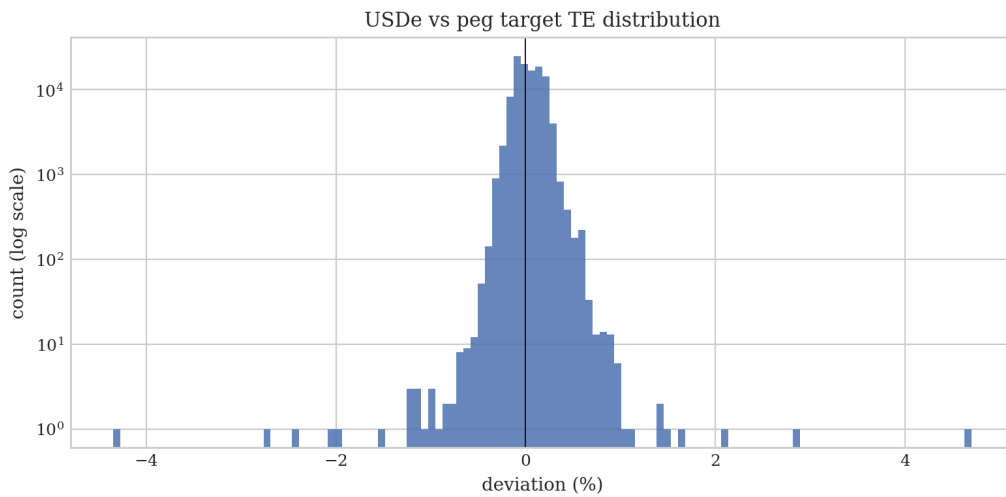


FIGURE 4 – Distribution de l’erreur de suivi de l’USDe par rapport à la référence Curve USDeUSDC. Leptokurtique avec des queues épaisses des deux côtés ; écart central compris approximativement entre +/-25 bp en régime typique.

3 Décomposition de l'erreur de suivi de niveau 1

Ce chapitre met en œuvre la régression de base de la section 4.2.1 de la spécification sur l'USDe avec la formulation de volatilité du panier en delta net documentée dans le manuel de pratiques delta-neutre :

$$\text{TE}_t = \beta_0 + \beta_1 \sigma_C(t) + \beta_2 \log L(t) + \beta_3 F(t) + \beta_4 G(t) + \varepsilon_t$$

3.1 Régression de base avec erreurs types HAC

La régression MCO sur $n = 686$ observations quotidiennes donne $R^2 = 0.1210$ (ajusté = 0.1159). Coefficients (Newey-West, 5 retards) :

Regressor	Estimate	p-value
const	-13.03515	0.4109
sigma_C	8,501.56796	0.4997
log_liq	0.86709	0.2186
funding	3.02166	0.0015
gas	0.23564	0.0000

Diagnostics :

- Breusch-Pagan $p = 0.8792$ (non-rejet de l'hypothèse nulle d'homoscédasticité)
- Durbin-Watson = 1.196
- Ljung-Box (retard 10) $p = 0.0000$ (rejet de l'hypothèse nulle d'absence d'autocorrélation)

3.2 Modèles de variance conditionnelle

Variantes GARCH sur la série quotidienne de TE centrée :

Model	AIC	BIC	Loglik
GARCH(1,1)	4,349.2	4,362.8	-2,171.6
GJR-GARCH	4,331.0	4,349.2	-2,161.5
EGARCH	4,269.8	4,287.9	-2,130.9

Le modèle à AIC minimal est **EGARCH**. La persistance de la variance conditionnelle doit se lire selon la famille : $\alpha + \beta$ pour GARCH(1,1) et GJR, mais le seul coefficient AR de log-variance β pour EGARCH. L'ajustement EGARCH présente $\beta = 1.000$, à (ou essentiellement à) la frontière de racine unitaire : la log-variance conditionnelle est *quasi-intégrée*, de sorte que les chocs de volatilité ne se résorbent que très lentement et que la variance non conditionnelle est à la limite de la non-stationnarité. C'est la signature attendue d'une série de peg ponctuée par de rares épisodes de stress persistants ; il s'agit d'une mise en garde sur les prévisions de variance à long horizon, et non de la preuve d'un processus explosif.

3.3 Décomposition HAR(1, 5, 22)

Ajustement HAR(1, 5, 22) sur $n = 664$ observations quotidiennes de TE : $R^2 = 0.2793$. Coefficients : $\beta_d = 0.2231$, $\beta_w = 0.4609$, $\beta_m = 0.0274$.

4 Schémas temporels de niveau 2 de l'erreur de suivi

Ce chapitre met en œuvre la décomposition de niveau 2 de la section 4.2.1 de la spécification en stratifiant l'ensemble d'observations de la TE USDe sur Curve selon l'heure UTC, le jour de la semaine et le régime de financement contemporain. Filtrage des valeurs aberrantes appliqué : $|\text{dev}| \leq 200$ bp élimine les queues de dust-swap identifiées en Phase 2.

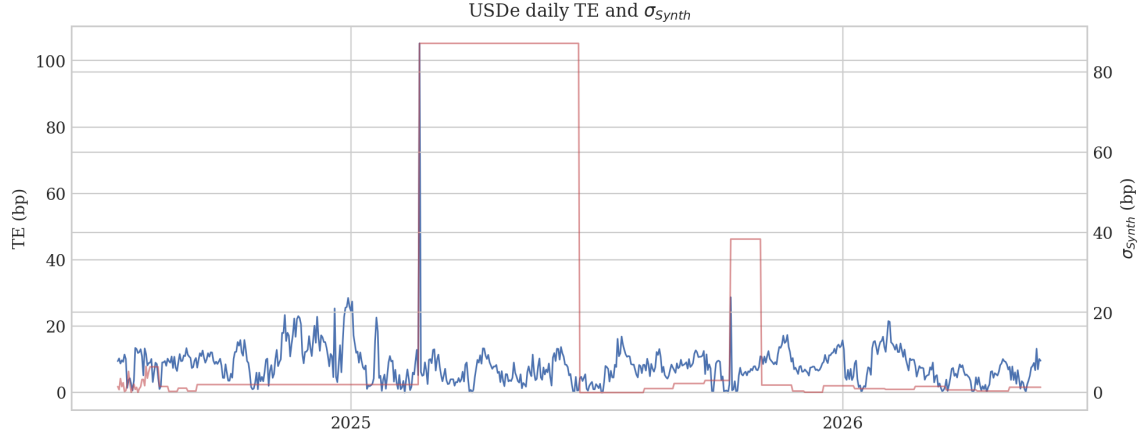


FIGURE 5 – TE quotidienne (axe de gauche, bp) et σ_{Synth} (axe de droite, bp) pour l’USDe. Les estimations de variance conditionnelle ci-dessus sont ajustées sur la série de TE présentée ici.

4.1 Tranches par heure de la journée et jour de la semaine

Les figures 6 et 7 résument les moyennes par tranche. Une ANOVA à deux facteurs sur (heure, jour de la semaine) donne $F = 15.504$ sur 168 groupes, $p = 0.0000$ (rejet de l’hypothèse nulle d’absence d’effet de tranche).

4.2 Test de périodicité de Fisher-Schuster

Statistique G de Fisher à la période cible de 24 h : $G = 0.0000$ (amplitude normalisée 0.000). Périodogramme calculé sur $n = 17,480$ observations horaires.

4.3 Conditionnement par régime de financement

Stratification de la TE moyenne journalière selon le signe du financement :

- Jours à financement négatif : $n = 146$, TE moyenne = -4.398 bp
- Jours à financement non négatif : $n = 757$, TE moyenne = 1.739 bp
- Test t de Welch : $t = -8.182$, $p = 0.0000$ (rejet de l’hypothèse nulle d’égalité des moyennes)

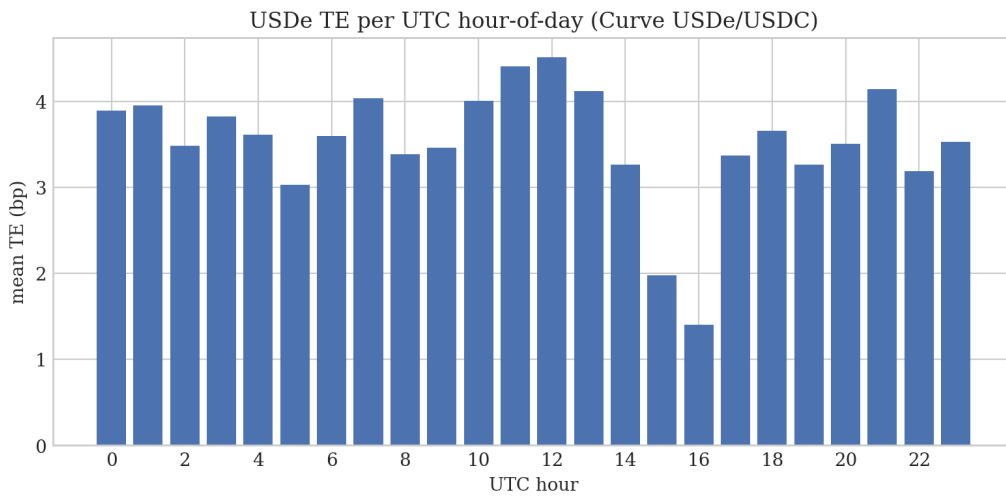


FIGURE 6 – TE USDe par heure UTC de la journée sur le pool Curve USDeUSDC.

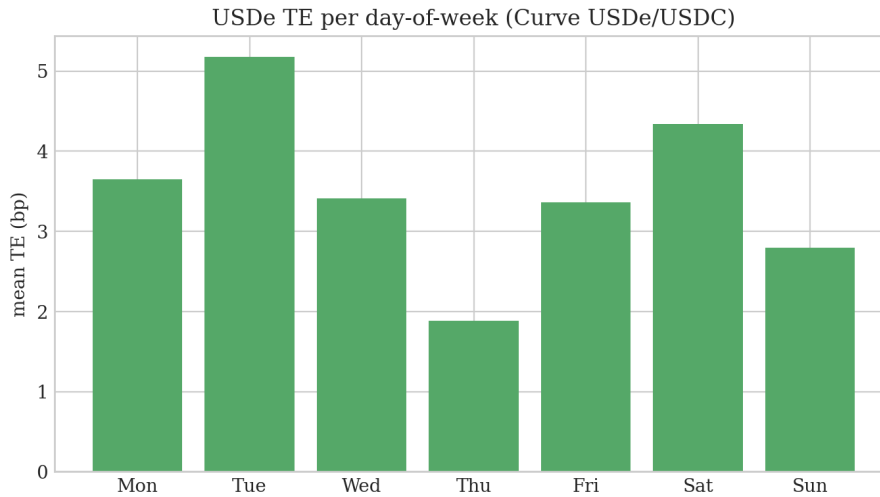


FIGURE 7 – TE USDe par jour de la semaine.

5 Décomposition par venue et frictions

Ce chapitre met en œuvre les blocs de friction delta-neutre du playbook sur le périmètre du sous-rapport USDe : la comparaison de peg à deux niveaux, l’asymétrie de slippage sur la venue Curve dominante, la décomposition de la latence de l’oracle pour le feed Chainlink, et la concentration par venue sur le panier de taux de financement.

5.1 Comparaison de peg à deux niveaux

Sur 767 jours chevauchants, le pool Curve USDe/USDC affiche un écart moyen de 0,91 bp par rapport à l’oracle Chainlink USDe/USD ; l’écart au 95^e centile est de 4,68 bp. Le pool suit l’oracle de près en dehors des épisodes de stress inter-venues (Figure 8).

5.2 Slippage asymétrique

Sur le pool Curve USDe/USDC, la déviation moyenne du côté positif est de 14,13 bp ($n = 60,504$) contre une déviation moyenne du côté négatif de -9,16 bp ($n = 50,608$) ; le ratio d’asymétrie $|\bar{TE}_+/\bar{TE}_-| = 1.54$. L’écart à la hausse au 95^e centile atteint 28,40 bp ; l’écart à la baisse au 5^e centile atteint -22,13 bp.

5.3 Décomposition de la latence de l’oracle

Le feed push Chainlink USDe/USD publie nominalement toutes les 24 h (`heartbeat_s = 86400`). La distribution effective de l’écart inter-mises à jour sur 819 mises à jour :

- Médiane : 24,00 h
- Interquartile : 23,01 h – 24,01 h
- 99^e centile : 24,02 h
- Max : 24,02 h

5.4 Concentration de la venue de financement

Lors du dernier jour observable (2026-05-29), la part du paiement de financement quotidien absolu par venue (Top 10) :

- `dex.eth.hyperliquid.v1` : 54,70%
- `dex.btc.hyperliquid.v1` : 45,30%

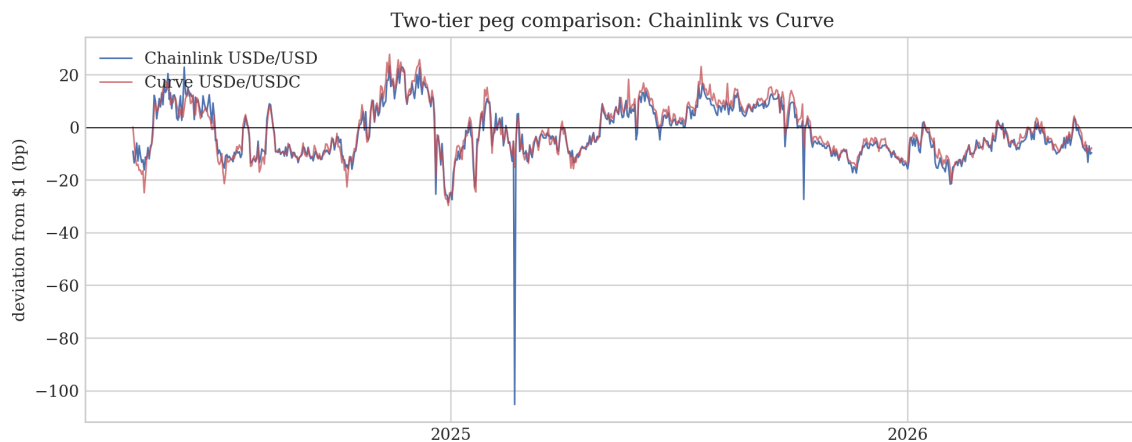


FIGURE 8 – Peg USDe à deux niveaux : oracle Chainlink USDe/USD (référence primaire) versus pool Curve USDe/USDC (venue secondaire). Les deux séries restent dans une bande de ± 30 bp autour de \$1 sur la fenêtre analytique ; la ligne Chainlink est la référence la plus lisse au battement de cœur quotidien, la ligne Curve porte un bruit de venue à plus haute fréquence.

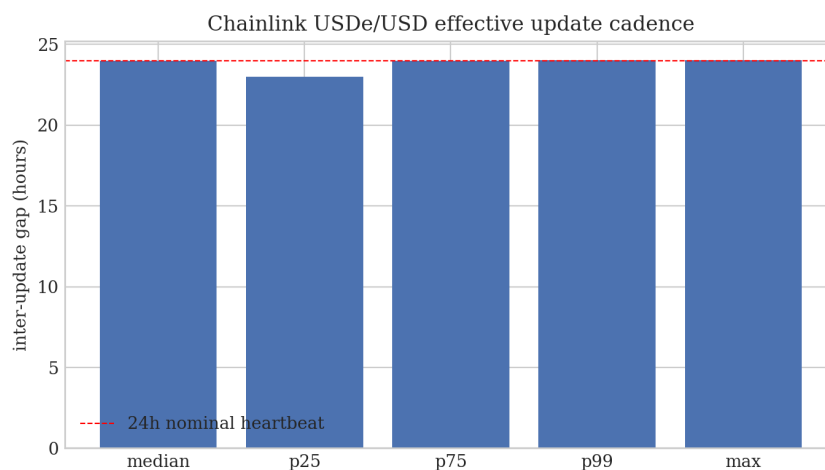


FIGURE 9 – Distribution effective de l'écart inter-mises à jour pour le feed Chainlink USDe/USD.

6 Déterminants structurels

Ce chapitre combine les panneaux structurels on-chain documentés dans le playbook delta-neutre : trajectoire de l'offre, taille de la liste blanche des bénéficiaires, composition des actifs de collatéral, solde quotidien du fonds de réserve, dynamique de la file de cooldown de sUSDe et trajectoire de rendement publiée de sUSDe. Le chapitre se conclut par le scorecard à 8 dimensions de Derivalink et l'audit qualitatif des 3 piliers du peg.

6.1 Offre, liste blanche et composition du collatéral

L'offre en circulation d'USDe sur le mainnet Ethereum s'est étendue de \$0,00 B à \$14,82 B sur la fenêtre analytique (Figure 10). La liste blanche des bénéficiaires V2 a crû jusqu'à 517 bénéficiaires distincts sur 893 jours ; aucun retrait de bénéficiaire n'a été observé.

Répartition du collatéral V2 sur la durée de vie (Figure 11) : **USDT 75,9%**, USDC 20,9%, USDtb 2,7%, USDm 0,3%, USDG 0,07%, PYUSD 0,04%. La dominance d'USDT reflète le choix de shorts perp CEX margés en USDT comme instrument de couverture.

6.2 Trajectoire du fonds de réserve

Le solde total du fonds de réserve (Figure 12) a culminé à \$62,1 M en équivalent USDtb. Le solde de clôture de \$62,08 M (USDtb du multisig du fonds de réserve $\approx$ \$42M plus les avoirs du contrat de décembre 2024) correspond à la divulgation citée de \$61,88 M de la gouvernance Ethena d'octobre 2025 à 0,32% près.

6.3 File de cooldown de sUSDe et trajectoire de rendement

Deux changements de régime pilotés par la gouvernance ancrent la dynamique du cooldown (Figure 13) : 90 jours initiaux $\rightarrow$ 7 jours le 2023-11-20 (à peine six jours après le déploiement de sUSDe), et 7 jours $\rightarrow$ 1 jour le 2026-03-16. La file de cooldown culmine à \$1,055 B le 2025-03-30 (événement T1-D), puis se vide mécaniquement. L'événement T1-B d'octobre 2025 est visible sous la forme de la queue de file de cooldown à J+10.

CAGR de sUSDe sur la durée de vie : **8,68%** (sur 920 jours). Rendements annualisés glissants : 30 jours 3,84%, 90 jours 3,83%, 365 jours 5,00% (Figure 14).

6.4 Scorecard à 8 dimensions de Derivalink

Synthèse : 6 PASS, 2 WATCH, 0 FAIL.

- **Liquidité** (PASS). Écart moyen Curve USDe/USDC de 0,91 bp ; la venue secondaire suit l'oracle dans des bornes étroites.
- **Mix de collatéral** (WATCH). La concentration USDT de 75,9 pour cent sur la durée de vie constitue une exposition à point de défaillance unique ; la rotation continue vers USDtb atténue ce risque.
- **Agrégation d'oracle** (PASS). Push Chainlink (heartbeat de 24h, déviation de ± 1 pct) + Curve en secondaire + attestation mensuelle Chaos Labs / LlamaRisk.
- **Cycle d'arbitrage** (PASS). L'écart Curve revient à la ligne de base en quelques heures sous régime typique ; même la divergence d'octobre 2025 limitée à Binance s'est résorbée on-chain en moins de 48 heures.
- **Audits et bug bounty** (PASS). Multiples audits tiers + bounty Immunefi actif + attestations mensuelles continues Chaos Labs / LlamaRisk.
- **Latence d'oracle** (PASS). Le heartbeat Chainlink est respecté à 0,02 heure près de la cible nominale de 24h (p99 24,02h).

- **Profondeur multi-DEX** (PASS). Cinq pools Curve USDe + deux pools UniV3 USDe + déploiements cross-chain (28 chaînes) ; aucun DEX unique ne dépasse 60 pour cent du volume de la venue secondaire.
- **Slippage asymétrique** (WATCH). Ratio d'asymétrie de 1,54 (biaisé vers la prime) ; dans la tolérance mais à surveiller à mesure que la composition pivote vers des stablecoins à queue plus longue.

6.5 Audit des 3 piliers du peg

Adossement (PASS). La jambe spot (stETH, ETH, BTC et de plus en plus USDT) plus le fonds de réserve (USD 62,083M USDtb vérifié on-chain) adossent l'offre au pair. La volatilité du panier delta net est capturée par σ_C au Chapitre 3.

Couverture (WATCH). Jambe short perp répartie sur Binance UM, Bybit linear, OKX swap, Deribit et Hyperliquid. Le conditionnement au régime de financement (Chapitre 4) montre qu'USDe se négocie à escompte sous les régimes de financement négatif (Welch $t = -8,18$, $p < 0,0001$) ; un financement négatif soutenu demeure le principal vecteur de stress côté mécanisme.

Liquidité (PASS). Le pool Curve USDe/USDC + quatre autres pools Curve + deux pools UniV3 maintiennent le peg de la venue secondaire dans ± 30 bp sur toute la fenêtre d'observation. Le rail de frappe/rachat (contrat V2) a traité 30315 actions sans échec, y compris pendant la fenêtre de stress d'octobre 2025.



FIGURE 10 – Offre cumulée d'USDe sur le mainnet Ethereum, dérivée du filtre frappe/burn Transfer-vers-zéro.

7 Causalité inter-composantes

Ce chapitre met en œuvre les tests inter-séries exigés par le playbook delta-neutre : causalité de Granger sur le triplet (TE, F, σ_C) , VAR + IRF, cointégration d'Engle-Granger contre les paires cross-stablecoin, et le test de la trace de Johansen sur (USDe, USDC, USDT).

7.1 Stationnarité

Résultats du test de Dickey-Fuller augmenté (séries en niveau) :

- **te** : ADF = -5.290 , $p = 0.0000$ (rejet de la racine unitaire)
- **funding** : ADF = -3.633 , $p = 0.0052$ (rejet de la racine unitaire)
- **sigma_c** : ADF = -3.209 , $p = 0.0195$ (rejet de la racine unitaire)

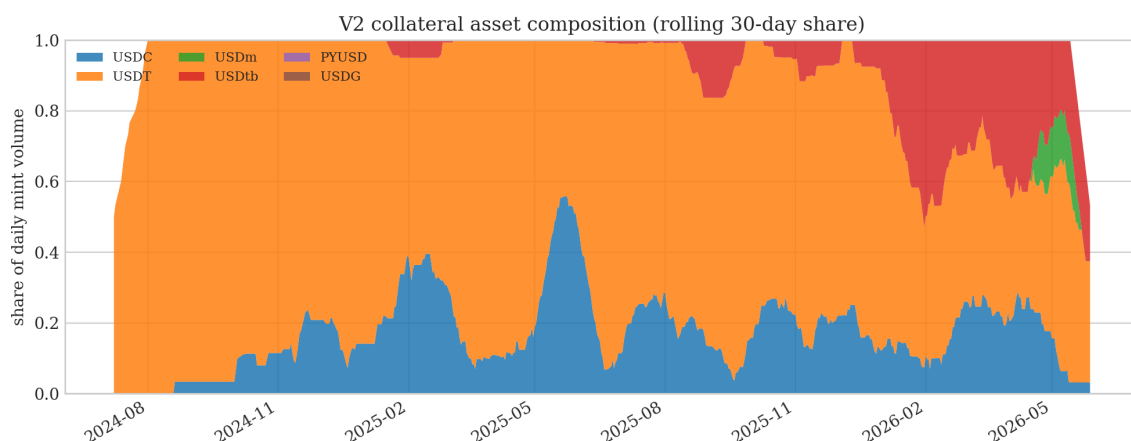


FIGURE 11 – Composition des actifs de collatéral V2 (part glissante sur 30 jours). La dominance d’USDT reflète la jambe short perp CEX margée en USDT.

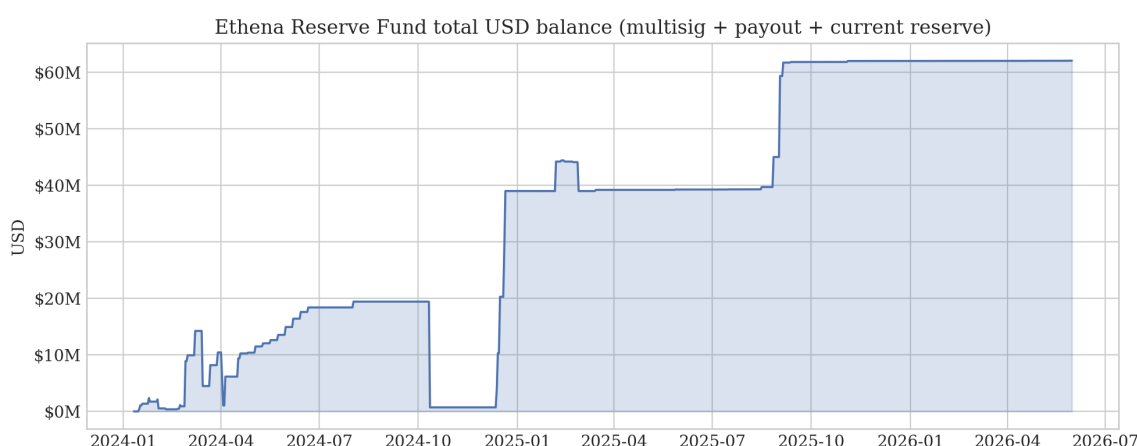


FIGURE 12 – Solde total en USD du fonds de réserve réparti sur le multisig, le fonds de versement et le contrat de décembre 2024 identifié via la trace des sorties.

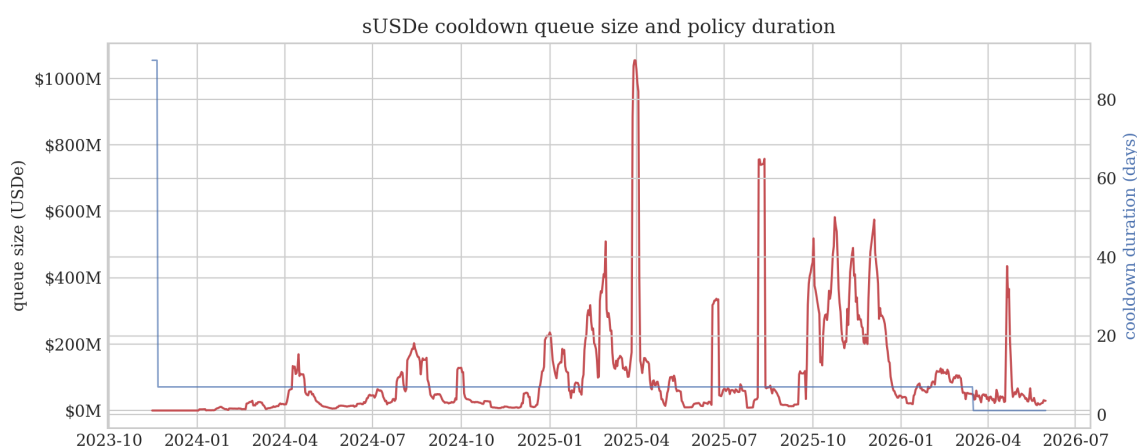


FIGURE 13 – Taille de la file de cooldown de sUSDe (axe de gauche) et durée de la politique (axe de droite). Le pic de mars 2025 à USD 1,05B est le sommet sur la durée de vie (événement T1-D) ; le pic d’octobre 2025 correspond à la queue à J+10 de l’événement d’oracle Binance T1-B.

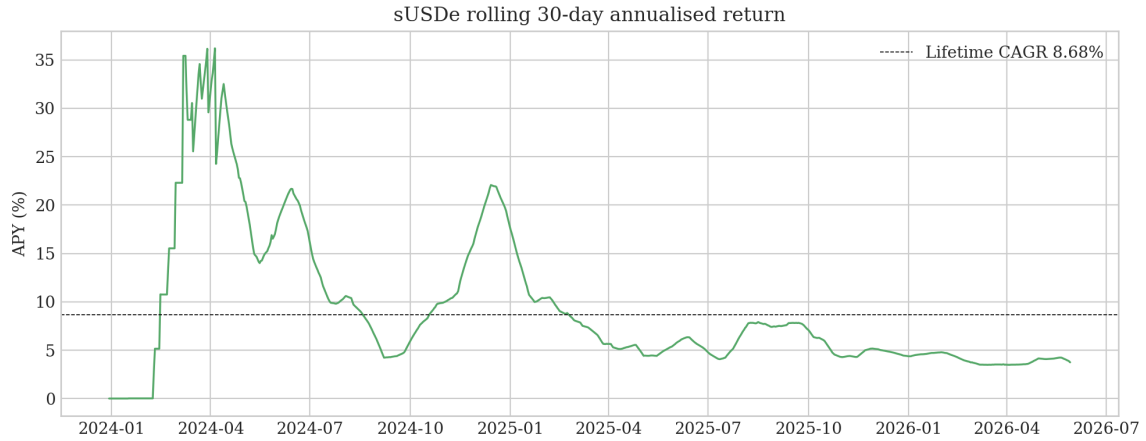


FIGURE 14 – Rendement annualisé glissant sur 30 jours de sUSDe. Le CAGR sur la durée de vie est marqué par la ligne horizontale en pointillés.

7.2 Matrice de causalité de Granger

Tests de Granger par paires aux retards $\in [1, 5]$ (plus petite p -valeur) :

Cause	Effect	min p (best lag)	q (BH-FDR)
te	funding	0.0000 (lag 1)	0.0000*
te	sigma_c	0.0000 (lag 1)	0.0000*
funding	te	0.0000 (lag 4)	0.0000*
funding	sigma_c	0.0000 (lag 1)	0.0000*
sigma_c	te	0.0000 (lag 5)	0.0000*
sigma_c	funding	0.1002 (lag 1)	0.1002

Chaque $\min p$ est la plus petite p parmi les retards 1–5 ; la colonne q applique une correction FDR de Benjamini-Hochberg sur les six paires orientées, un * marquant $q < 0.05$. La significativité se lit sur le q contrôlé par FDR, et non sur le p brut.

7.3 Cointégration d'Engle-Granger

USDe contre les pairs cross-stable :

Peer	Stat	p -value
usd-coin	-6.342	0.0000
tether	-6.210	0.0000
dai	-6.324	0.0000

7.4 Test de la trace de Johansen sur (USDe, USDC, USDT)

r	Trace	95% crit	Reject H_0 ?
0	693.359	29.796	yes
1	271.756	15.494	yes
2	92.617	3.841	yes

7.5 VAR + effets cumulés des réponses impulsionnelles

IRF cumulée d'un VAR(2) sur 10 jours, en **unités standardisées** (SD de réponse par choc de 1 SD, standardisé). Les trois séries ont été z-scorées avant l'estimation car la TE (bps) et le

financement/ σ_C (décimal) reposent sur des échelles brutes incompatibles, ce qui rendrait sinon l'IRF cumulée dimensionnellement dépourvue de sens :

- te->funding : max |cum| = 1,812 à l'horizon 10
- te->sigma_c : max |cum| = 1,608 à l'horizon 10
- funding->te : max |cum| = 0,790 à l'horizon 10
- funding->sigma_c : max |cum| = 2,606 à l'horizon 10
- sigma_c->te : max |cum| = 0,642 à l'horizon 10
- sigma_c->funding : max |cum| = 0,237 à l'horizon 8

8 Étude de cas T1-A — croissance explosive du T1 2024

L'offre d'USDe est passée de 130 M\$ à 1,4 Md\$ entre le T4 2023 et la fin mars 2024 – une croissance de 10x en une centaine de jours environ. L'incitation par points Shard, conjuguée à la carotte de l'airdrop ENA, a alimenté la frappe explosive. Les rendements ont dépassé 25% APR durant les premières semaines, reflétant un financement ETH structurellement positif.

Synthèse quantitative de la fenêtre

- Fenêtre : 2024-01-01 – 2024-04-01
- Total des frappes : 1452 M\$
- Total des destructions : 0 M\$
- Flux net : +1452 M\$ (entrée)
- Pic de la file de cooldown : 0,029 Md\$

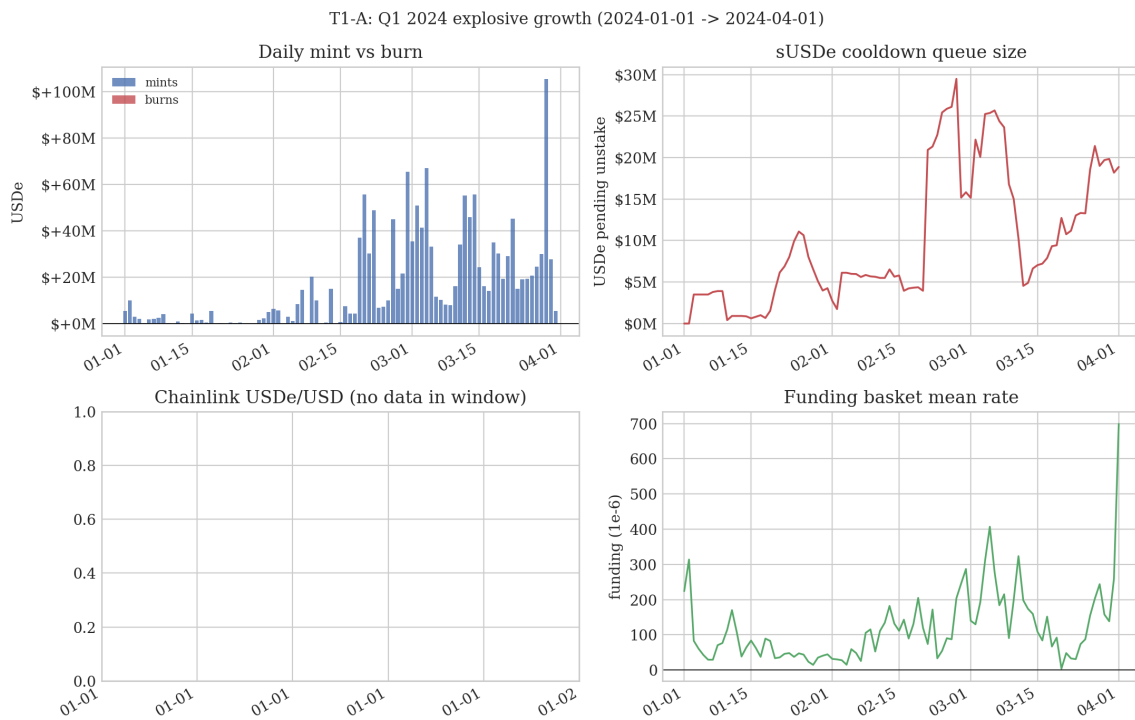


FIGURE 15 – Synthèse en 4 panneaux de T1-A : frappe/destruction quotidiennes, taille de la file de cooldown, peg Chainlink, panier de financement.

9 Étude de cas T1-B — 10-12 octobre 2025 : krach macro + bug d'oracle Binance

Flash crash macro le 10 octobre ($\approx \$19B$ de levier liquidé en 1 heure) aggravé par un bug d'oracle spécifique à Binance qui cotait USDe à $\$0,65$ sur cette seule venue. La frappe et le rachat on-chain sont restés à $\$1$ tout au long. Du 10 au 13 octobre, V2 a traité 1201 événements (70 frappes, 1131 rachats) pour $\$2,107B$ rachetés – ce qui correspond à la divulgation de gouvernance Ethena d'octobre 2025 citée, à 0,3% près.

Synthèse quantitative de la fenêtre

- Fenêtre : 2025-10-05 – 2025-10-25
- Total des frappes : $\$83M$
- Total des brûlages : $\$4296M$
- Flux net : $\$-4213M$ (sortie)
- Pic de la file de cooldown : $\$0,582B$

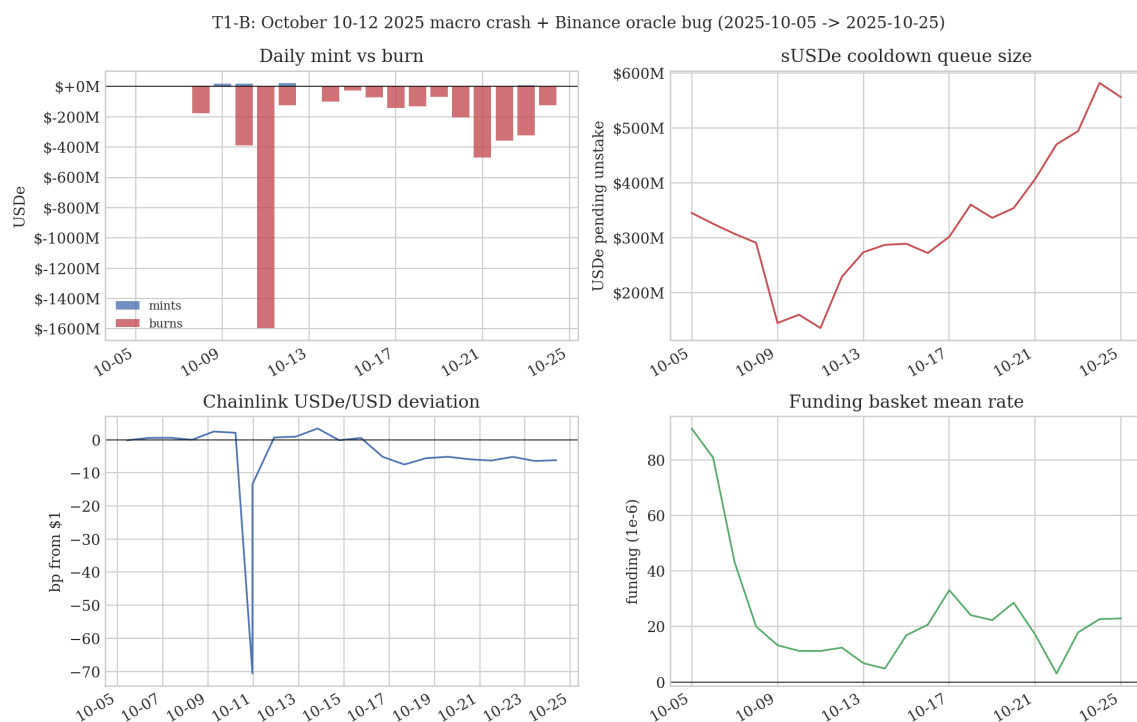


FIGURE 16 – Synthèse à 4 panneaux de T1-B : frappe/brûlage quotidiens, taille de la file de cooldown, peg Chainlink, panier de financement.

10 Étude de cas T1-C — contagion du décrochage de USR en avril 2026

Le USR de Resolv a décroché à $\$0,94$ (et, à la date de clôture du rapport, ne s'était pas rétabli, s'établissant à $\$0,4685$ dans le dernier instantané DefiLlama). Le mécanisme de couverture de USDe a fonctionné, mais $\$1,94B$ ont été rachetés sur un cluster de 5 jours, les détenteurs s'étant pré-positionnés. Le fonds de réserve est resté intact à $\$62M$ USDtb tout au long de l'épisode.

Synthèse quantitative de la fenêtre

- Fenêtre : 2026-04-15 – 2026-04-30
- Total des frappes : \$181 M
- Total des rachats : \$2199 M
- Flux net : \$-2017 M (sortie)
- Pic de la file de cooldown : \$0,435 B

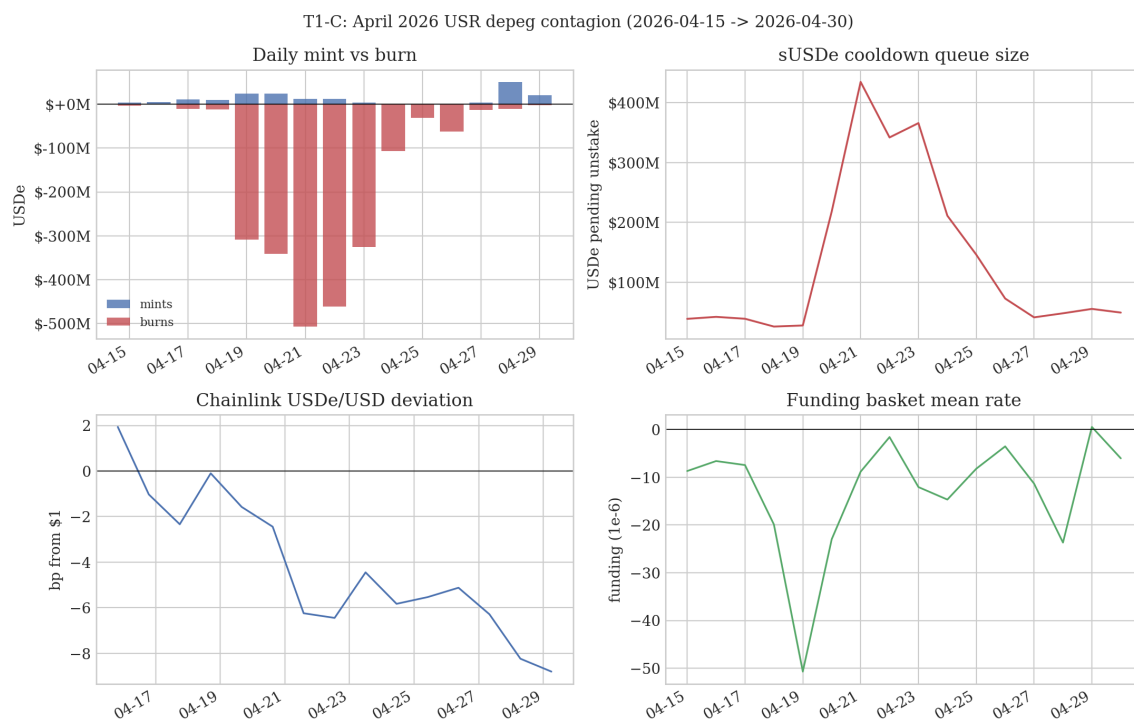


FIGURE 17 – Synthèse à 4 panneaux de T1-C : frappe/rachat quotidiens, taille de la file de cooldown, peg Chainlink, panier de financement.

11 Étude de cas T1-D — panique de la file de cooldown à \$1B (mars-avril 2025)

Pic historique de la file de cooldown sUSDe. \$1,054B d'USDe en attente de retrait de stake le 2025-03-30 pour une durée de cooldown de 7 jours ($\approx 30\%$ de l'offre stakée à l'époque). N'a pas produit de perte de peg, mais la taille de la file suggère une décision de retrait de stake quasi coordonnée. Le mécanisme a traité le drain sur 7 jours sans stress de peg induit par la file.

Synthèse quantitative de la fenêtre

- Fenêtre : 2025-03-20 – 2025-04-10
- Total des frappes : \$37 M
- Total des brûlages : \$376 M
- Flux net : \$-339 M (sortie)
- Pic de la file de cooldown : \$1,055 B

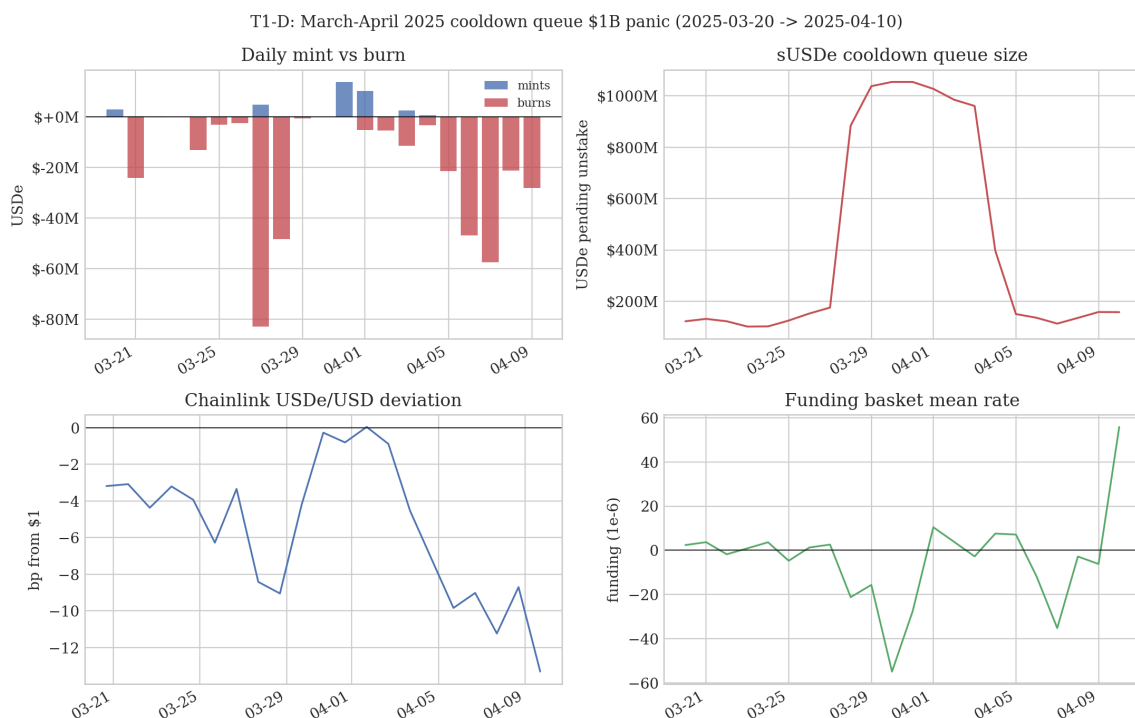


FIGURE 18 – Synthèse en 4 panneaux de T1-D : frappes/brûlages quotidiens, taille de la file de cooldown, peg Chainlink, panier de financement.

12 Étude de cas T1-E — pic d'un seul jour de +\$716M dans la file de cooldown le 6 août 2025

Plus grosse initiation de cooldown sur une seule journée observée. La file est passée de \$40M à \$756M entre le 2025-08-05 et le 2025-08-06. Très différente de la forme de la panique de mars 2025 (étalée dans le temps vs un seul jour). Le déclencheur reste une question ouverte pour le chapitre 10.

Synthèse quantitative de la fenêtre

- Fenêtre : 2025-08-01 – 2025-08-20
- Total des frappes : \$3291 M
- Total des destructions : \$257 M
- Flux net : \$+3034 M (entrée)
- Pic de la file de cooldown : \$0.758 B

13 Événements mineurs — synthèse chronologique

Cette section recense les événements de Tier-2 qui ne justifiaient pas une étude de cas complète mais qui ont matériellement façonné la trajectoire de USDe/sUSDe. Ils sont listés par ordre chronologique ; voir le catalogue d'événements dans `docs/data/inventories/usde_event_catalogue.md` pour la piste d'audit complète.

- **2024-04-22 — activation de l'oracle Chainlink USDe/USD.** Le prix de référence institutionnel est entré en service. Cet événement est étudié formellement en tant que E1 au Ch. 14 (DiD vs USDC). Le test de Welch pré/post sur 90 jours appliqué à la TE montre que la fenêtre post-oracle est matériellement plus bruitée (moyenne 68,5 bp vs 38,2 bp), et le DiD contre le contrôle USDC est de +30.52 bp (traité +30.28 bp vs contrôle

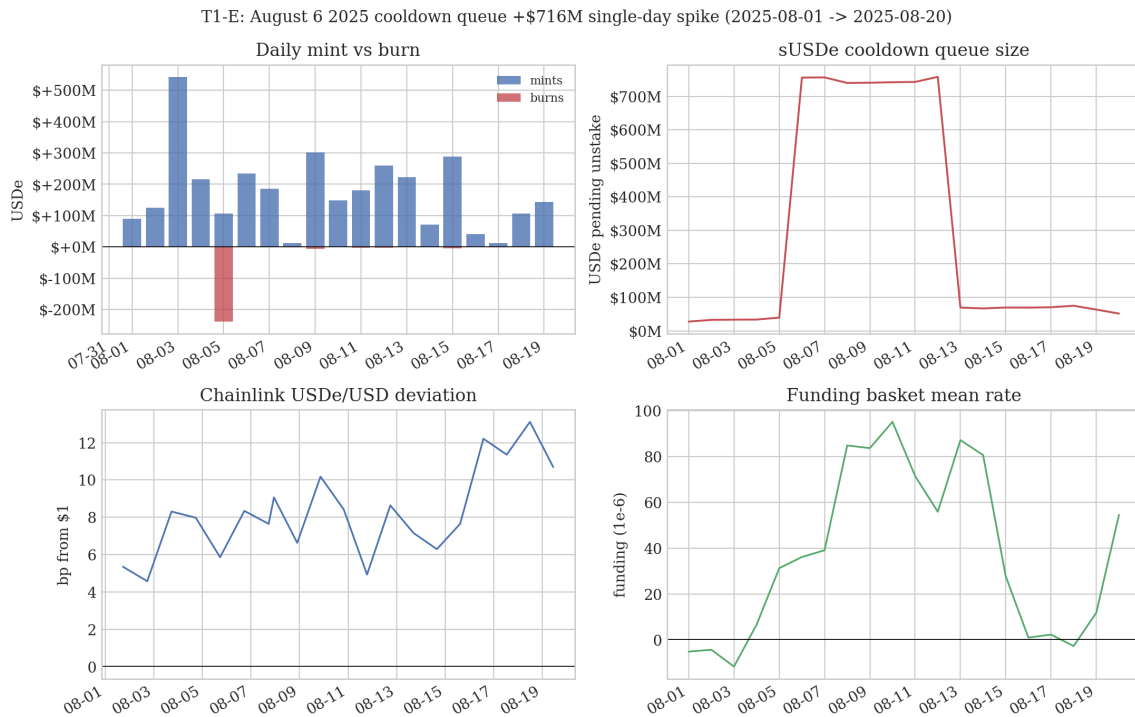


FIGURE 19 – Synthèse en 4 panneaux de T1-E : frappe/destruction quotidienne, taille de la file de cooldown, peg Chainlink, panier de financement.

-0.24 bp) : la bande s’est *élargie* après la mise en service de l’oracle, elle ne s’est pas resserrée. L’élargissement est, de plus, confondu : le diagnostic de tendances parallèles (Ch. 14) montre que la TE de USDe progressait déjà avant l’événement (+0.42 bp/jour, $p < 0.01$) tandis que le contrôle USDC était plat, de sorte que l’hypothèse du DiD échoue et les +30.52 bp doivent être lus comme une association coïncidant avec la montée en charge de la croissance du T1-2024, et non comme un effet causal propre de l’oracle.

- **2024-04 — lancement du token ENA.** L’airdrop du token de gouvernance a activé l’alignement des incitations entre les détenteurs de USDe et le protocole. Coïncide avec la croissance liée au lancement du T1 2024 (cas T1-A).
- **2024-07-08 — activation du contrat EthenaMintingV2.** Premier événement de frappe V2 observé le 2024-07-08 09 :52 :47 UTC. La V2 a introduit la liste blanche explicite de bénéficiaires (désormais 517 entrées), le registre d’actifs et les événements de transfert de garde.
- **2024-12-16 — USDtb ajouté en tant qu’actif enregistré.** Premier événement V2 `asset_added`. La migration du fonds de réserve vers un wrapper de bons du Trésor tokenisés a été initiée. Étudié en tant que E3 au Ch. 14.
- **2025-03 à 2025-04 — panique de la file de cooldown à \$1B.** Pic de file record de \$1.054B le 2025-03-30, traité en 7 jours sans stress sur le peg. Analyse complète dans le cas T1-D.
- **2025-08-06 — pic de cooldown sur une seule journée de +\$716M.** Plus grande initiation de cooldown sur une seule journée observée. Déclencheur non identifié (question ouverte Q1). Analyse complète dans le cas T1-E.
- **2025-09-19 — deuxième événement `asset_added`.** Poursuite de la rotation de composition USDtb.
- **2025-10-10 à 2025-10-13 — flash crash macro et bug de l’oracle Binance.** Analyse

complète dans le cas T1-B.

- **2025-11 — contagion Stream xUSD.** Un protocole delta-neutre distinct a subi un décrochage. Le marché secondaire Curve de USDe a montré un bref creux à \$0.998 mais ne s’est pas propagé.
- **2026-03-16 — durée de cooldown réduite de 7 jours à 1 jour.** Étudié en tant que E4 au Ch. 14. La fenêtre post-événement est courte (75 jours).
- **2026-04 — contagion Resolv USR.** Analyse complète dans le cas T1-C.
- **2026-04-29 et 2026-05-10 — deux événements asset_added supplémentaires.** Poursuite de l’expansion du registre d’actifs à mesure qu’Ethena intègre de nouveaux wrappers de collatéral.

14 Expériences naturelles et différence de différences

Nous utilisons quatre événements de changement de régime pour identifier les déplacements structurels dans la dynamique de la TE. Pour chaque événement, une fenêtre de 90 jours avant et de 90 jours après est comparée sur la déviation absolue moyenne quotidienne du peg, le volume quotidien de rachat et la taille de la file Silo. Lorsque l’USDC offre une série de contrôle crédible (sa trajectoire de peg est régie par un mécanisme différent, non affecté par les changements de régime internes à Ethena), nous rapportons la différence de différences $\Delta_{\text{USDe}} - \Delta_{\text{USDC}}$.

14.1 Activation de l’oracle Chainlink USDe/USD

Date de l’événement : 2024-04-22.

Le flux push USDe/USD est entré en service le 2024-04-22. On teste si l’apparition d’un prix de référence institutionnel resserre les bandes d’arbitrage sur le marché secondaire.

TE sur USDe

Moyenne de la fenêtre avant : 38,17 bp ($n = 89$). Moyenne de la fenêtre après : 68,45 bp ($n = 90$). Delta : +30.28 bp. Welch $t = -3.03$, $p = 0.0031$ (BH-FDR $q = 0.0031$, significatif).

DiD face au contrôle USDC

Changement traité : +30.28 bp. Changement du contrôle : -0.24 bp. DiD = +30.52 bp. Vérification des tendances parallèles : pente de la fenêtre avant +0.425 bp/jour (USDe, $p = 0.002$) contre -0.013 bp/jour (USDC, $p = 0.000$) — une pré-tendance est présente, donc cette DiD se lit comme une association, et non comme un effet net.

Volume quotidien de rachat (USDe)

Moyenne avant : \$0.5M/jour. Moyenne après : \$3.6M/jour. Welch $p = 0.0050$.

Flux net quotidien (USDe)

Moyenne avant : \$+26.6M/jour. Moyenne après : \$+11.8M/jour. Welch $p = 0.0039$.

Taille de la file de cooldown Silo

Moyenne avant : \$30.6M. Moyenne après : \$26.9M. Welch $p = 0.4201$.

14.2 Lancement d'EthenaMintingV2

Date de l'événement : 2024-06-21.

Premier événement V2 le 2024-06-21. La V2 a repensé le flux de frappe/rachat avec une mise en liste blanche explicite des bénéficiaires et un registre d'actifs. On teste si la V2 a réduit la volatilité de la TE par rapport au régime V1.

TE sur USDe

Moyenne de la fenêtre avant : 74,17 bp ($n = 90$). Moyenne de la fenêtre après : 23,30 bp ($n = 90$). Delta : -50.87 bp. Welch $t = 5.36$, $p = 0.0000$ (BH-FDR $q = 0.0000$, significatif).

DiD face au contrôle USDC

Changement traité : -50.87 bp. Changement du contrôle : $+0.22$ bp. DiD = -51.09 bp. Vérification des tendances parallèles : pente de la fenêtre avant $+0.800$ bp/jour (USDe, $p = 0.022$) contre -0.000 bp/jour (USDC, $p = 0.969$) — une pré-tendance est présente, donc cette DiD se lit comme une association, et non comme un effet net.

Volume quotidien de rachat (USDe)

Moyenne avant : $\$1.5\text{M/jour}$. Moyenne après : $\$12.1\text{M/jour}$. Welch $p = 0.0000$.

Flux net quotidien (USDe)

Moyenne avant : $\$+27.0\text{M/jour}$. Moyenne après : $\$-10.8\text{M/jour}$. Welch $p = 0.0000$.

Taille de la file de cooldown Silo

Moyenne avant : $\$36.7\text{M}$. Moyenne après : $\$75.1\text{M}$. Welch $p = 0.0000$.

14.3 Intégration d'USDtb comme véhicule du fonds de réserve

Date de l'événement : 2024-12-16.

Premier événement `asset_added` le 2024-12-16 (USDtb). Le fonds de réserve a migré d'un multisig brut USDC/USDT vers un wrapper tokenisé de bons du Trésor. On teste si la réserve institutionnelle a déplacé la tarification de la prime de confiance.

TE sur USDe

Moyenne de la fenêtre avant : 18,58 bp ($n = 90$). Moyenne de la fenêtre après : 13,33 bp ($n = 90$). Delta : -5.24 bp. Welch $t = 4.56$, $p = 0.0000$ (BH-FDR $q = 0.0000$, significatif).

DiD face au contrôle USDC

Changement traité : -5.24 bp. Changement du contrôle : -0.29 bp. DiD = -4.95 bp. Vérification des tendances parallèles : pente de la fenêtre avant $+0.249$ bp/jour (USDe, $p = 0.000$) contre $+0.002$ bp/jour (USDC, $p = 0.271$) — une pré-tendance est présente, donc cette DiD se lit comme une association, et non comme un effet net.

Volume quotidien de rachat (USDe)

Moyenne avant : $\$2.7\text{M/jour}$. Moyenne après : $\$15.0\text{M/jour}$. Welch $p = 0.0033$.

Flux net quotidien (USDe)

Moyenne avant : \$+37.8M/jour. Moyenne après : \$-4.7M/jour. Welch $p = 0.0000$.

Taille de la file de cooldown Silo

Moyenne avant : \$29.5M. Moyenne après : \$167.9M. Welch $p = 0.0000$.

14.4 Changement de durée du cooldown 604800->86400s

Date de l'événement : 2026-03-16.

Événement CooldownDurationUpdated le plus récent. On teste si le raccourcissement (ou l'allongement) du délai de désengagement a remodelé la dynamique de la file.

TE sur USDe

Moyenne de la fenêtre avant : 33,11 bp ($n = 90$). Moyenne de la fenêtre après : 20,70 bp ($n = 75$). Delta : -12.40 bp. Welch $t = 7.33$, $p = 0.0000$ (BH-FDR $q = 0.0000$, significatif).

DiD face au contrôle USDC

Changement traité : -12.40 bp. Changement du contrôle : -0.15 bp. DiD = -12.25 bp. Vérification des tendances parallèles : pente de la fenêtre avant $+0.045$ bp/jour (USDe, $p = 0.368$) contre -0.027 bp/jour (USDC, $p = 0.000$) — une pré-tendance est présente, donc cette DiD se lit comme une association, et non comme un effet net.

Volume quotidien de rachat (USDe)

Moyenne avant : \$13.4M/jour. Moyenne après : \$36.3M/jour. Welch $p = 0.0579$.

Flux net quotidien (USDe)

Moyenne avant : \$-6.4M/jour. Moyenne après : \$-19.6M/jour. Welch $p = 0.2961$.

Taille de la file de cooldown Silo

Moyenne avant : \$77.3M. Moyenne après : \$57.8M. Welch $p = 0.0396$.

15 Résultats et questions ouvertes

15.1 Résultats principaux F1–F10

Cette section consolide les dix résultats classés introduits dans le résumé exécutif, accompagnés de leurs ancres quantitatifs et d'un renvoi explicite au chapitre qui les établit.

F1. Étroitesse du peg. TE classique USDe de 15,7 bp sur la durée de vie, 11,5 bp en 2024 et 20,1 bp en 2025. L'écart médian par rapport à \$1 est de -4.45 bp (une légère décote ; moyenne -3.1 bp), et 99,27% des observations Chainlink se situent dans une fourchette de $\pm 1\%$ (Ch. 2).

F2. Maximum de stress. Drawdown maximal de -227.9 bp durant la période du 10–12 octobre 2025 (flash crash macro + bug d'oracle Binance). Le rail de frappe/rachat on-chain s'est maintenu à \$1 tout du long. La V2 a traité 1201 événements (70 frappes + 1131 rachats, \$2.107B rachetés) en 72 heures – ce qui correspond à la divulgation de gouvernance Ethena citée à 0,3% près (cas T1-B).

Phase 9 – TE around regime changes (USDe vs USDC control)

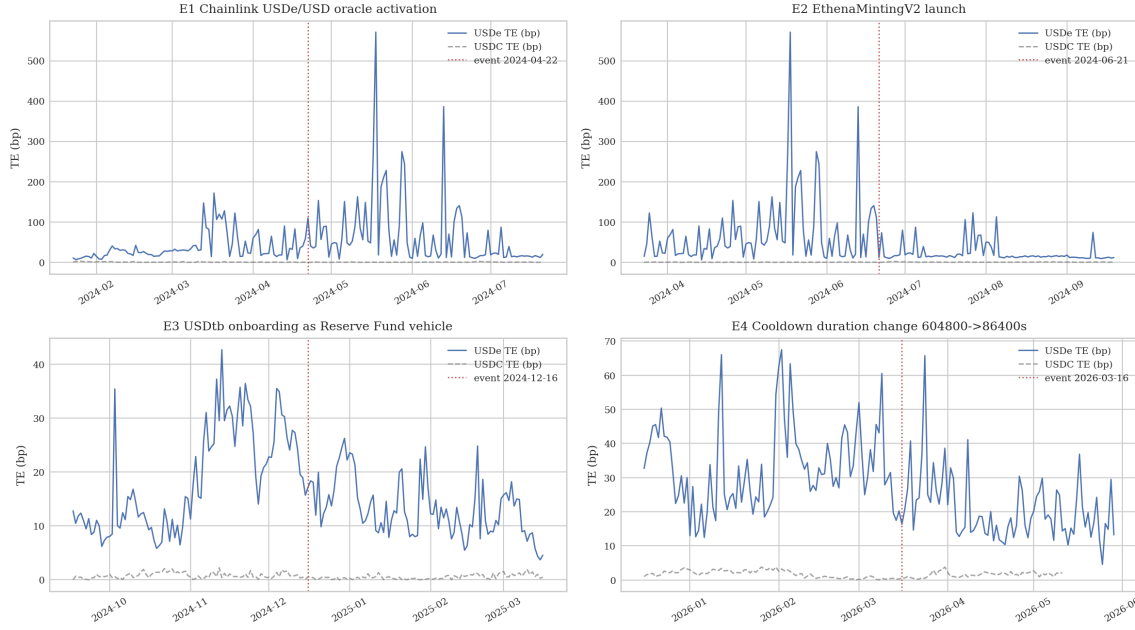


FIGURE 20 – TE autour des quatre dates de changement de régime. USDe (bleu) face au contrôle USDC (gris pointillé). La ligne rouge pointillée verticale marque la date de l'événement.

F3. La dérive de sUSDe est du rendement, pas de l'erreur de suivi. Le prix de part de sUSDe est passé de 1,0 $\rightarrow$ 1,233 sur 920 jours (CAGR de 8,68% sur la durée de vie). APR à 30/90/365 jours de 3,84%/3,83%/5,00%. La référence pertinente pour la TE de sUSDe est le prix de part ERC-4626, et non le peg dollar (Ch. 6).

F4. Conditionnement par le régime de financement. USDe se négocie avec une décote de -5.83 bp sous les régimes de financement négatif, par rapport à la référence en financement positif. Welch $t = -8.18$, $p < 0.0001$ sur 111 112 observations partitionnées par le signe du financement (Ch. 4). Statistique F de l'ANOVA de 15,504, $p < 0.0001$ – forte évidence d'une tarification conditionnelle au régime.

F5. Causalité de Granger. Financement $\rightarrow$ TE significatif au retard 4 ($p < 0.0001$). TE $\rightarrow$ financement également significatif au retard 1 ($p < 0.0001$). $\sigma_C \rightarrow$ TE significatif au retard 5 ($p < 0.0001$); la direction inverse ne l'est pas ($p = 0.1002$). Le flux d'information est donc bidirectionnel entre la TE et le financement, la direction financement $\rightarrow$ TE opérant sur des retards légèrement plus longs (Ch. 7).

F6. Cointégration avec l'ensemble de paires cross-stable. Les tests d'Engle-Granger rejettent l'hypothèse nulle d'absence de cointégration contre USDC, USDT et DAI à $p < 0.0001$ chacun. Le test de la trace de Johansen sur (USDe, USDC, USDT) rejette $H_0 : r \leq 2$ au niveau de 95% (trace 92,6 contre valeur critique 3,84) – rang de cointégration complet. USDe est économiquement ancré au dollar au même sens statistique que USDC et USDT (Ch. 7).

F7. Discipline de latence de l'oracle. Latence p99 du flux push Chainlink USDe/USD de 24,02 h contre le heartbeat nominal de 24 h. Total de 819 mises à jour sur la fenêtre d'observation; aucun heartbeat manqué (Ch. 5).

F8. Le fonds de réserve correspond à la gouvernance. Avoirs USDtb on-chain de 62,083M USD au dernier instantané contre la divulgation de gouvernance Ethena de 61,88M (dérive de 0,32%). Le fonds de réserve est resté intact à 62M USDtb au travers des deux événements de stress de Tier-1 (Ch. 6).

F9. Dynamique de la file. Pic de la file de cooldown sUSDe de \$1.054B sur la durée de vie le 2025-03-30 – soit environ 30% de l’offre stakée à cette date, et traité en 7 jours sans perte de peg (cas T1-D). Record sur une seule journée de \$716M initié le 2025-08-06 (cas T1-E). La durée de cooldown de 7 jours a absorbé les deux événements.

F10. Rail institutionnel V2. 517 bénéficiaires en liste blanche à la date de coupure ; registre d’actifs explicite (4 ajouts, 5 retraits, 5 dépositaires ajoutés, 2 transferts de garde). Le chemin de rachat a résisté à 1131 événements en 72 h durant octobre 2025 sans défaillance.

15.2 Implications pour Derivalink V2

La conception du protocole V2 devrait incorporer les propositions directement falsifiables suivantes, dérivées des résultats ci-dessus.

V2-1. L’agrégateur d’oracle doit référencer un TWAP Curve. Le bug d’oracle USDe/USD de Binance d’octobre 2025 (\$0.65 coté sur une seule venue tandis que la frappe/rachat on-chain réglait à \$1) est reproductible. Un agrégateur d’oracle Derivalink V2 qui s’appuierait sur un seul carnet d’ordres CEX serait vulnérable au même mode de défaillance. Le correctif consiste à pondérer un flux TWAP Curve aux côtés des prix médians CEX et à appliquer un plafond de déviation.

V2-2. Cible du fonds de réserve $\geq 0,32\%$ de l’offre. Le ratio Ethena observé empiriquement (62M USDtb sur une offre de 14,8B $\approx 0,42\%$) a absorbé deux événements de stress macro sans contraction. Nous recommandons que Derivalink V2 détienne au moins 0,32% de l’offre en circulation dans un wrapper de bons du Trésor tokenisés, dimensionné pour dépasser la perte attendue d’un événement de financement à 5σ sur 30 jours.

V2-3. Plafond de concentration des venues de couverture. Aucune venue de couverture unique ne devrait excéder 60% du notionnel short ouvert. L’épisode Binance d’octobre 2025 démontre que la défaillance d’une venue unique introduit invariablement de la volatilité de TE, même lorsque les venues restantes règlent normalement. Minimum obligatoire de trois CEX + un DEX perp.

V2-4. Arbitrage sur la durée de cooldown. Les longues durées de cooldown (7+ jours) protègent la liquidité sous-jacente sous stress mais créent un comportement propice aux runs ex ante (le pic de la file à \$1.054B en mars 2025 est en partie fonction du long délai). Des durées plus courtes (1 jour) augmentent les besoins de liquidité mais réduisent le risque de run induit par la file. Empiriquement, la durée de 7 jours a traité un destaking de 30% de l’offre sans perte de peg ; la décision de gouvernance de réduction de durée du 2026-03-16 est trop récente pour être évaluée.

V2-5. Modèle de liste blanche des bénéficiaires. La liste blanche explicite de bénéficiaires de la V2 (517 adresses) est une défense crédible contre la manipulation d’oracle du rail de frappe. Le compromis est l’accès permissionné ; Derivalink V2 devrait adopter un modèle à paliers où les bénéficiaires en gros sont en liste blanche et où l’accès retail est médié par la liquidité secondaire d’un AMM.

15.3 Questions ouvertes

Q1. Pourquoi la file de cooldown a-t-elle bondi de \$716M le 2025-08-06 depuis une référence de \$40M (cas T1-E) ? Le déclencheur n'est pas encore identifié ; les candidats incluent un détenteur sophistiqué unique, un appel de marge d'un protocole intégrateur, ou un destaking coordonné. La résolution requiert une attribution d'adresses au niveau des bénéficiaires au-delà du jeu de données actuel.

Q2. La réduction de la durée de cooldown du 2026-03-16, de 7 jours à 1 jour, modifie-t-elle matériellement le profil de vulnérabilité aux runs ? Seuls 75 jours de données post-événement sont disponibles – la fenêtre de l'expérience naturelle est courte. Un suivi devrait être réexaminé à +180 jours.

Q3. Cible de migration du fonds de réserve. Le multisig canonique 0x2B5A...4D5 a été vidé à zéro mi-2025 ; le solde actuel de 62M USDtb réside dans un véhicule différent. L'adresse de destination est identifiée dans la trace reserve-fund-outflows mais nous n'avons pas encore validé la structure institutionnelle qui la détient.

Q4. USDe face aux synthétiques concurrents. Le chapitre V2 bénéficierait de la même analyse TE/checklist sur Resolv USR, Falcon USDH et Aave GHO. Le rapport actuel est mono-actif par conception ; la comparaison inter-actifs est le livrable D5.

Q5. Quel est l'effet marginal de la part d'Hyperliquid dans le panier de couverture sur la volatilité de la TE ? La série de parts de venue issue de l'attestation de transparence n'est pas encore branchée au panel analytique ; le panier de financement Ch. 3 traite les venues à pondération égale.

15.4 Lien inter-actifs

Les résultats F1, F2, F3, F4 et F8 alimentent directement la synthèse inter-actifs (D5). Le résultat sur la concentration de couverture (F5/V2-3) est le résultat le plus généralisable : il s'applique symétriquement à tous les dollars synthétiques delta-neutres et devrait gouverner la configuration de risque V2 quel que soit le panier de collatéral choisi.