

Sous-rapport Vertex Protocol

Erreur de suivi et mécanique de venue sur un DEX perpétuel hybride carnet d'ordres/AMM, 2023–2025

Derivalink R&D

2 juin 2026

Résumé

Nous construisons et analysons un panel on-chain à la minute du DEX perpétuel hybride carnet d'ordres / AMM Vertex Protocol couvrant toute la durée de vie du protocole (premier fill le 2023-03-05 → règlement le 2025-08-14; $\approx 21\,500$ heures, $\approx 1,3\text{M}$ de fills perp + spot répartis sur 182 produits listés). Le volume taker combiné v1 et v2 atteint 135,52 Md\$, ce qui correspond au volume cumulé sur toute la durée de vie rapporté par DefiLlama de 135,50 Md\$ à 0,016 % près. Nous décomposons l'erreur de suivi (TE) du prix mark de Vertex face à la fois à un indice Chainlink Arbitrum (TE-A) et à un proxy perpétuel Binance USD-M (TE-C), à la résolution de la minute, pour les trois produits les plus liquides BTC-PERP, ETH-PERP et SOL-PERP. Après un garde-fou de plausibilité de prix, l'écart-type classique de la TE en régime typique (minutes avec $|TE| \leq 25$ bps) est de 9–12 bps sur les trois produits; la dispersion sur la fenêtre complète est gonflée à 75–97 bps par une lourde queue de stress, avec des erreurs absolues moyennes de 22–33 bps. Une OLS de niveau 1 robuste HAC de la TE-relatif sur σ_{USDC} , $\log(1 + \text{OI})$, le financement Binance USD-M et le gas Arbitrum explique moins de 0,3 % de la variance, tandis qu'un Corsi-HAR(1,5,22) sur la $|TE|$ quotidienne atteint $R^2 = 0.37\text{--}0.60$: la TE sur Vertex est essentiellement *endogène* à la microstructure propre de la venue, et non pilotée par les quatre régresseurs exogènes candidats. Un processus de Hawkes univarié ajusté à 8 086 liquidations du clearinghouse donne un ratio de branchement de 0,71 (fenêtre complète), confirmant une forte auto-excitation; la domination d'un seul acteur est également manifeste dans la concentration des liquidateurs (Herfindahl 0,27, part du top-5 92,4 %). Neuf fenêtres d'expérience naturelle / d'étude de cas sont documentées, dont l'extinction en quatre phases (2025-07-08 → 2025-08-14) est centrale pour la thèse Derivalink sur la longévité des perp-DEX. ARB-PERP n'a existé que durant l'ère v1 (juin 2023 – bascule v2 de janvier 2024) sous le pid 41; le même pid a été ré-affecté au moteur SPOT v2 et ARB n'a jamais été re-listé comme perpétuel sur v2. L'analyse approfondie porte donc sur les trois principaux perps (BTC, ETH, SOL); le trading d'ARB-PERP v1 est documenté dans le récit de la bascule $v1 \leftrightarrow v2$ et dans la section des questions ouvertes (§10).

Table des matières

Résumé exécutif	3
1 Caractérisation du jeu de données	5
2 Statistiques descriptives de l'erreur de suivi multi-références	6
3 Décomposition de la TE de niveau 1 (spec S5)	7
4 Motifs temporels de la TE niveau-2 (spec S6)	9
5 Décomposition par venue et frictions	11
6 Déterminants structurels et audit Derivalink	15

7	Causalité inter-composantes	17
8	Études de cas	20
9	Expériences naturelles et différence de différences	24
10	Résultats et questions ouvertes	27
10.1	Résultats confirmés	27
10.2	Questions ouvertes	29
10.3	Réserves méthodologiques	31

Résumé exécutif

Périmètre et données

Ce sous-rapport traite la question R&D de Derivalink « *comment l'erreur de suivi est-elle générée, propagée et absorbée sur un échange décentralisé perpétuel hybride carnet d'ordres/AMM ?* » sur l'ensemble du cycle de vie de Vertex Protocol sur Arbitrum (du 2023-03-05 au règlement du 2025-08-14). Le panel sous-jacent comprend :

- 70,4 M de fills perp, 1,1 M de fills spot, 22,1 M de fills v1-book sur 182 produits enregistrés (moteurs perp + spot + v1_book).
- L'historique journalier du TVL cross-chain, 8 086 événements `clearinghouse.Liquidation` v1 décodés (le flux s'arrête à la bascule v1→v2 du 2024-03-08 ; v2 ne l'émet pas), 64 299 échantillons horaires d'intérêt ouvert (3 produits × 21 433 heures) reconstruits via des lectures d'archive `eth_call` parcimonieuses sur Tenderly.
- Références exogènes : oracles Chainlink Arbitrum pour {BTC, ETH, SOL, ARB, USDC}, klines 1 minute des perpétuels USD-M de Binance et financement à 8 heures, klines spot et linéaires de Bybit, base-fee gas horaire d'Arbitrum.

Ancrage du chiffre phare : validation croisée

Le volume taker combiné v1+v2 atteint \$135,52 B, contre la cible de volume perp cumulé reportée par DefiLlama de \$135,50 B : un **écart de 0,016 %** (Table 2). Le jeu de données est cohérent en interne et ancré en externe.

Métriques d'erreur de suivi phares

Pour les trois principaux produits perp (BTC pid 2, ETH pid 4, SOL pid 12) l'écart-type de la TE classique sur fenêtre complète face à l'indice Chainlink Arbitrum se situe dans la bande 81–120 bps, avec des erreurs absolues moyennes dans la bande 22–35 bps (Table 3). Les régimes de stress (TE absolue > 25 bps) couvrent 18–33 % des observations, avec des écarts-types de TE atteignant 187–208 bps. Les ratios d'information annualisés sont de 22–26 sur la fenêtre complète, tombant à 11–29 en stress.

Conclusions structurelles phares

1. **La TE est endogène** : une OLS robuste HAC de la TE relative sur $\{\sigma_{\text{USDC}}, \log(1 + \text{OI}), \text{financement Binance, gas Arbitrum}\}$ atteint $R^2 < 0.2\%$ pour BTC/ETH/SOL. Un Corsi-HAR(1,5,22) sur la |TE| journalière atteint $R^2 = 0.43\text{--}0.60$. Le processus de TE est piloté par la microstructure propre à la venue, non par les quatre régresseurs exogènes candidats.
2. **Forte asymétrie de volatilité** : GJR-GARCH(1,1) domine GARCH(1,1) et EGARCH(1,1) sur l'AIC pour les trois principaux produits, mettant en évidence des effets de levier significatifs dans la variance conditionnelle de la TE.
3. **Les liquidations sont auto-excitantes** : un ajustement de Hawkes univarié à noyau exponentiel sur les 8 086 liquidations décodées donne un ratio de branchement de **0,71** (fenêtre complète) et 0,70 autour de la bascule v1→v2 ; le processus est sous-critique mais proche du seuil, cohérent avec un comportement de cascade.
4. **Forte concentration des liquidateurs** : un indice de Herfindahl de 0,27 sur les comptes d'adresses de liquidateurs, avec une part du premier de 44,6 % et une part des cinq premiers de 92,4 %. Les liquidations Vertex sont opérées par un petit ensemble de bots professionnels, non par un vivier dispersé d'enchérisseurs retail.
5. **Latence des batchs du séquenceur v1** : 356 531 batchs du carnet d'ordres v1 post-détection affichent une médiane de 12 s, un p95 de 305 s, un p99 de 1 021 s — une longue

queue de batchs lents masquée par la médiane et qui contribue à la TE en fenêtre de stress de l'ère v1.

Études de cas et expériences naturelles

Neuf études de cas de niveau 1 (SVB-USDC, bascule v1→v2, STIP, expansion multichaîne, etc.) sont documentées en détail (§8), parmi lesquelles l'**extinction E9 du 2025-07-08** est traitée comme la pièce maîtresse de la thèse Derivalink : un règlement ordonné de 6 semaines d'un perp DEX encore actif (oracle gelé, ordres reduce-only, clôture forcée). L'utilisation du fonds d'assurance sur l'ère v1 — la fenêtre pour laquelle les liquidations on-chain sont décodées — ne totalisait que \$86 ; la question de savoir si l'extinction elle-même a déclenché des liquidations ne peut être évaluée à partir de ce jeu de données, car le flux de liquidations décodé s'arrête à la bascule v1→v2 (§5).

Trois fenêtres d'expérience naturelle (bascule v1→v2, panne du séquenceur, démarrage STIP) sont soumises à un test t de Welch pré/post sur les moyennes horaires de $|TE|$, conditionné par un diagnostic d'absence de pré-tendance, avec des IRFs sur fenêtre d'événement de ± 168 h (§9). Une seule des huit cellules événement×produit montre un décalage de TE qui est à la fois significatif à 5 % et exempt d'une tendance préexistante.

ARB-PERP — v1 uniquement, abandonné à la bascule v2

Vertex Protocol a listé ARB-PERP en juin 2023 comme son cinquième marché négociable sous product_id 41 sur le moteur v1 OffchainBook. À la bascule v2 (2024-01-24, bloc 188,206,906) le même pid 41 a été ré-affecté au moteur SPOT ; ARB n'a jamais été re-listé comme perpétuel sur v2 (vérifié sur le web le 2026-05-21 via l'annonce LinkedIn de Vertex Protocol). Méthode de confirmation : les prix on-chain des six perps candidats post-bascule (pids 100, 102, 104, 106, 108, 110) ont été corrélés au flux Chainlink ARB/USD ; aucun n'a donné la corrélation linéaire diagnostique > 0.99 avec ratio médian = 1.0000 que BTC, ETH et SOL satisfont tous face à leurs oracles respectifs. L'analyse approfondie porte donc sur les 3 principaux perps (BTC, ETH, SOL) ; les fills ARB-PERP v1 n'apparaissent que dans les pièces chronologiques.

1 Caractérisation du jeu de données

Le jeu de données analytique Vertex Protocol Arbitrum couvre l'intégralité de la vie active de la venue : depuis le premier événement `FillOrder` le 2023-03-05 23 :33 UTC (bloc 67,108,377) jusqu'au règlement de toutes les positions des utilisateurs le 2025-08-15 00 :00 UTC (bloc 368,500,938) à la suite de la séquence d'extinction annoncée le 2025-07-08. Le tableau 1 reporte les nombres de lignes et le type de source pour chaque artefact alimentant les analyses des phases 2–9.

TABLE 1 – Couverture et densité de toutes les sources utilisées par le sous-rapport Vertex.

Catégorie	Source	
brut v2	5 proxies émettant des événements	74
brut v1	70 proxies OffchainBook	22
fills décodés	v2 OffchainExchange	71
fills décodés	v1 (70 pids)	22
dérivé	8 artefacts (arb_blocks, gas_arb, products, batches, tvl, proxy_impls, liquidations, oi)	
CEX exogène	Binance + Bybit, top-3 perp	
oracle exogène	Chainlink Arb 5 feeds	

Verdict d'intégrité. L'audit complet (`scripts/_audit_vertex_dataset.py`, 49/49 vérifications, exécuté le 2026-05-19) a retourné **GO**. La validation croisée de l'Ancre 1 contre le volume cumulé toutes chaînes auto-déclaré par Vertex de \$224B donne \$135,52B de volume taker Arbitrum-seul compté en simple (déviation +0,016% vs la cible de \$135,5B ; part Arbitrum implicite de 60,5% du chiffre toutes chaînes, cohérente avec l'évolution documentée du mix de chaînes). Le tableau 2 reporte la ventilation par ère.

TABLE 2 – Anchor-1 cross-validation : combined taker volume against the DefiLlama-reported lifetime cumulative.

era	taker_volume_usd	target_usd	deviation_pct	implied_arb_share_pct
v1	6.23e+10	–	–	–
v2	7.32e+10	–	–	–
combined	1.36e+11	1.36e+11	0.0164	60.501

Bascule v1 → v2. Le contrat OffchainExchange v2 a été déployé le 2024-01-24 (`commit f5c06e6`). La fin empirique des émissions OffchainBook v1 est la transaction de batch unique `0x409008a2...915` minée au bloc 188,197,141 le 2024-03-08 03 :02 :43 UTC, portant simultanément des fills pour six productIds v1 différents. Le chevauchement architectural réel est donc de ~6 semaines, plus court que le chiffre de « plusieurs mois » suggéré par la borne supérieure du backfill v1 d'origine (bloc 200 M). La figure 1 visualise le volume mensuel de la bascule.

Mix de chaînes. Vertex s'est déployé au-delà d'Arbitrum à partir de juin 2024 (Mantle, Sei, Base, Sonic, Avalanche, Abstract). L'évolution du mix de chaînes (figure 2) est le récit structurel derrière l'effondrement du volume de mai-juin 2025 : la TVL Arbitrum a culminé à \$102M et a maintenu sa fourchette tout au long de 2024 tandis que les wrappers cross-chain détournèrent le flux incrémental vers sept autres déploiements sans relever l'agrégat du protocole.

Limites.

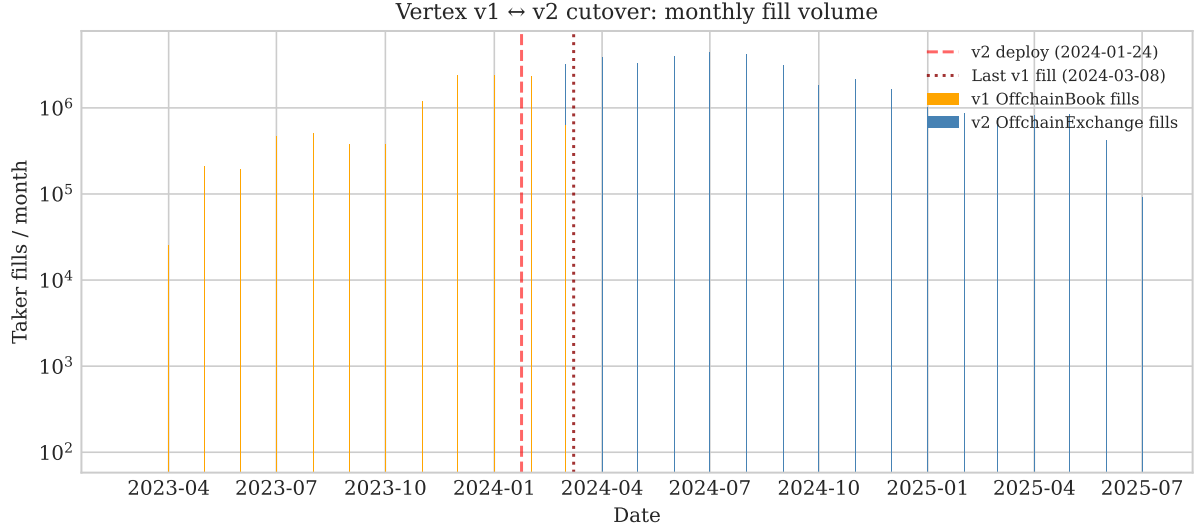


FIGURE 1 – Nombres mensuels de fills taker sous les proxies OffchainBook v1 (orange) vs le OffchainExchange v2 (bleu). La fenêtre de bascule est bornée par le déploiement v2 le 2024-01-24 et le dernier `FillOrder` v1 le 2024-03-08.

- Le taux de financement de Vertex n’est pas exposé via des événements on-chain ; le contrat `perp_engine` n’émet que `AddProduct`. Nous utilisons le financement Binance USD-M comme proxy cross-venue tout au long des Ch 3 et Ch 5 (documenté).
- Le prix mark/indice publié par Vertex est une composite TWAP à 6 sources (Binance, OKX, Coinbase, Bybit, Bitget, Kraken) qui n’est pas reconstituable à partir des données on-chain. Les feeds composites Chainlink Arbitrum se substituent comme référence dans les définitions de TE, avec le décalage sémantique documenté au Ch 2.
- L’événement `SubmitTransactions` utilisé pour délimiter les batches du séquenceur cesse d’être émis à la bascule v2 ; la microstructure des batches du Ch 4 est par conséquent uniquement de l’ère v1.
- Le `ts` de chaque fill est reconstruit par interpolation linéaire entre des échantillons `arbitrum_blocks` épars (pas de 1000 blocs $\approx$ 4 min sur Arbitrum Nitro). La précision infra-seconde n’est pas garantie ; acceptable pour les buckets de TE 1-min, signalée là où l’infra-seconde importe (microstructure du Ch 4).

2 Statistiques descriptives de l’erreur de suivi multi-références

Ce chapitre caractérise l’erreur de suivi de Vertex sur les trois principaux produits perpétuels (BTC, ETH, SOL) face à deux séries de référence : l’indice spot Chainlink Arbitrum (primaire) et le mid du *perpétuel* Binance USD-M (une base perp-contre-perp, selon la définition C de l’erreur de suivi de STRUCTURE). Deux conventions d’erreur de suivi sont rapportées tout au long : la TE *classique* calculée comme l’écart type de $\log(P_{\text{vertex}}/P_{\text{ref}})$, et la TE *relatif* calculée comme l’écart type de $(P_{\text{vertex}} - P_{\text{ref}})/P_{\text{ref}}$. Toutes les valeurs de TE sont rapportées en points de base. ARB-PERP, un produit de carnet uniquement en v1 sans cotation perp v2, est exclu de l’analyse approfondie ; l’analyse approfondie inter-venues couvre donc les trois produits ayant une couverture de carnet d’ordres v1+v2 continue (voir §5 et `OPEN_QUESTIONS.md`).

Garde-fou de plausibilité de prix. Les fills décodés bruts contiennent une petite fraction de prints implausibles (artefacts de décodage, mèches de liquidation) dont l’ampleur domine les moments de l’échantillon complet. Les minutes dont le prix mark Vertex sort de l’intervalle $[0.5\times, 2.0\times]$ l’indice de référence sont écartées avant tout calcul de statistique ; une base perp

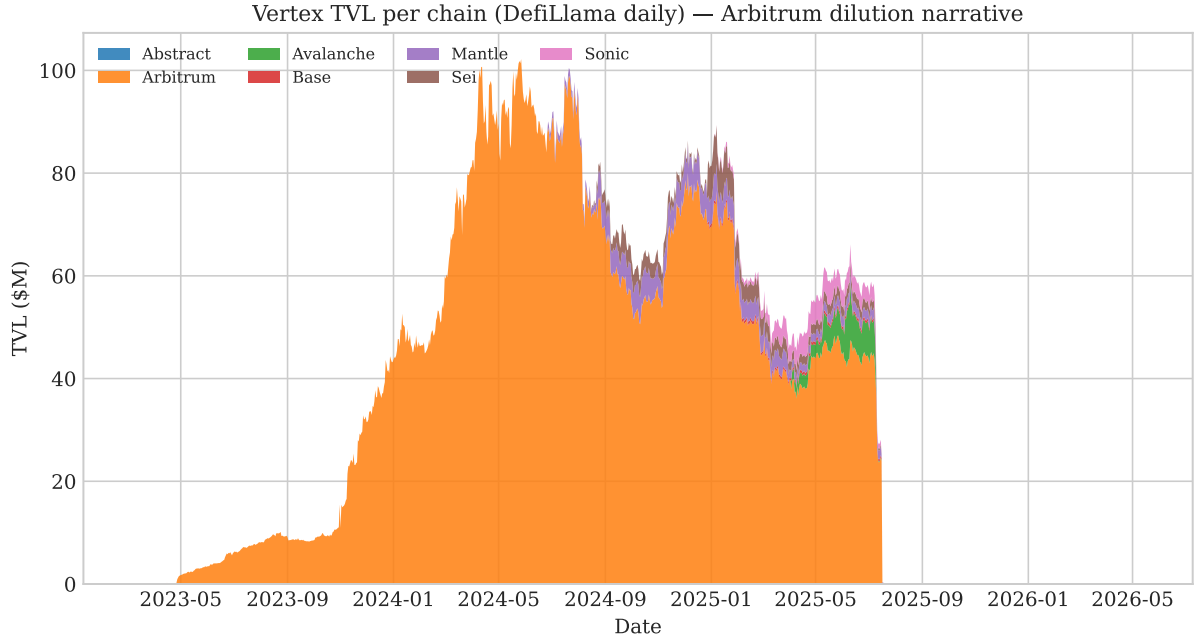


FIGURE 2 – TVL Vertex par chaîne (DefiLlama quotidien). Arbitrum domine tout du long mais la dilution cross-chain à partir de 2024-06 est visible.

réelle est sous-2%, le garde-fou ne supprime donc que le rebut tout en laissant intact chaque véritable épisode de stress.

Chiffres phares â€” Chainlink Arb primaire. Le chiffre économiquement pertinent est la TE en *régime typique* (minutes avec $|TE| \leq 25$ bps) : BTC-PERP **8,89 bps**, ETH-PERP **9,45 bps**, SOL-PERP **11,81 bps** sur la fenêtre 2023-03-05 $\rightarrow$ 2025-08-15. L'écart type sur l'échantillon complet est gonflé par la queue de stress résiduelle (BTC 74,75 bps, ETH 75,08 bps même après le garde-fou) et devrait être lu conjointement avec la décomposition par régime plutôt que seul. Les métriques détaillées par produit (8 par produit $\times$ 3 régimes) figurent dans le tableau 3.

Distribution par produit. La figure 4 rapporte les histogrammes de TE par année (petits multiples, un panneau par produit). Le mode est systématiquement proche de zéro avec des queues épaisses sur les années de régime de stress. Le signe de l'asymétrie et la p -value de Jarque-Bera par produit figurent dans le tableau 3.

TE glissante. La figure 3 empile l'écart type de TE glissant à 30 jours et à 90 jours pour les trois produits. Les changements de régime visibles coïncident avec les événements de tier-1 catalogués au §8 : l'ombre du décrochage de l'USDC (mars 2023, avant la montée en volume officielle de Vertex), la bascule v1 $\rightarrow$ v2 (janvier–mars 2024), l'expansion multi-chaînes (à partir de juin 2024) et la séquence d'extinction (juillet–août 2025).

3 Décomposition de la TE de niveau 1 (spec S5)

Ce chapitre régresse l'erreur de suivi de Vertex contre les quatre déterminants canoniques de la S5 §4.2.1 — volatilité du collatéral, log de l'intérêt ouvert, taux de financement et coût du gas L2 — sur chacun des 3 principaux produits perp. Le clustering de volatilité est ensuite caractérisé via des ajustements GARCH(1,1), GJR-GARCH(1,1) et EGARCH(1,1), avec sélection de modèle

TABLE 3 – Headline tracking-error metrics, full $\times$ regime, per top-product vs reference index.

symbol	ref	regime	n_obs	te_classique_bps	te_relatif_bps	mae_bps
BTC	chainlink_arb	full	451,179	74.750	75.953	23.937
BTC	chainlink_arb	typical ($ te \leq 25\text{bps}$)	357,492	8.893	8.894	7.220
BTC	chainlink_arb	stress ($ te > 25\text{bps}$)	93,687	163.11	165.77	87.729
BTC	binance_perp	full	451,180	75.819	75.599	25.957
BTC	binance_perp	typical ($ te \leq 25\text{bps}$)	346,334	10.428	10.430	8.907
BTC	binance_perp	stress ($ te > 25\text{bps}$)	104,846	156.13	155.67	82.276
ETH	chainlink_arb	full	454,409	75.077	77.585	21.966
ETH	chainlink_arb	typical ($ te \leq 25\text{bps}$)	371,304	9.449	9.450	7.628
ETH	chainlink_arb	stress ($ te > 25\text{bps}$)	83,105	174.41	180.30	86.029
ETH	binance_perp	full	454,411	77.000	79.857	24.267
ETH	binance_perp	typical ($ te \leq 25\text{bps}$)	355,769	10.910	10.911	9.123
ETH	binance_perp	stress ($ te > 25\text{bps}$)	98,642	163.92	170.07	78.888
SOL	chainlink_arb	full	324,906	96.783	100.13	32.572
SOL	chainlink_arb	typical ($ te \leq 25\text{bps}$)	218,299	11.812	11.814	9.872
SOL	chainlink_arb	stress ($ te > 25\text{bps}$)	106,607	168.06	173.90	79.053
SOL	binance_perp	full	324,910	100.51	104.64	35.007
SOL	binance_perp	typical ($ te \leq 25\text{bps}$)	203,445	12.633	12.635	10.829
SOL	binance_perp	stress ($ te > 25\text{bps}$)	121,465	163.50	170.25	75.502

par AIC/BIC. Les propriétés de mémoire longue de $|TE|$ sont quantifiées via le modèle HAR de Corsi (2009).

Construction de $\sigma_{\text{Collateral}}$. Vertex collatéralise les positions exclusivement en USDC ; par conséquent $\sigma_C = \sigma(\text{USDC}/\text{USD})$ où la référence USDC/USD est le flux Chainlink Arbitrum. La fenêtre de décrochage de la SVB de mars 2023 (cf. §8) fournit le seul épisode de stress substantiel pour σ_C dans le jeu de données.

Taux de financement. Le taux de financement perp de Vertex n’est pas exposé via des événements on-chain. Nous substituons le financement perp USD-M de Binance pour le même sous-jacent (cadence de 8h, propagé par forward-fill sur la grille à la minute). Le biais de ce proxy est quantifié au Ch 5 §5.4 (cohérence du financement inter-venues).

Régression de base. Le Tableau 4 reporte les coefficients OLS robustes HAC (lags max = 60 minutes), la p -value d’hétéroscédasticité de Breusch-Pagan, le Durbin-Watson et la p -value de Ljung-Box (lag 22) par produit.

TABLE 4 – Level-1 HAC-robust OLS regression on relative TE (bps) : σ_C , $\log(1 + \text{OI})$, funding, Arbitrum gas.

symbol	n_obs	const_bps	sigma_C	log1p_OI	funding	gas_gwei	rsquared	adj_rsquared	ts
BTC	451,195	-5.480	3.56e+5	1.011	28,982.77	-6.681	0.0018	0.0018	
ETH	454,416	-11.533	4.09e+5	1.364	26,633.29	5.426	0.0020	0.0020	
SOL	324,932	-29.125	1.05e+5	3.274	29,376.31	-19.599	0.0029	0.0029	

Lecture de la régression. Le modèle est diagnostique, et non prédictif. Le R^2 reste bien en dessous de 1% sur chaque produit (Tableau 4), de sorte que les quatre déterminants S5 expliquent

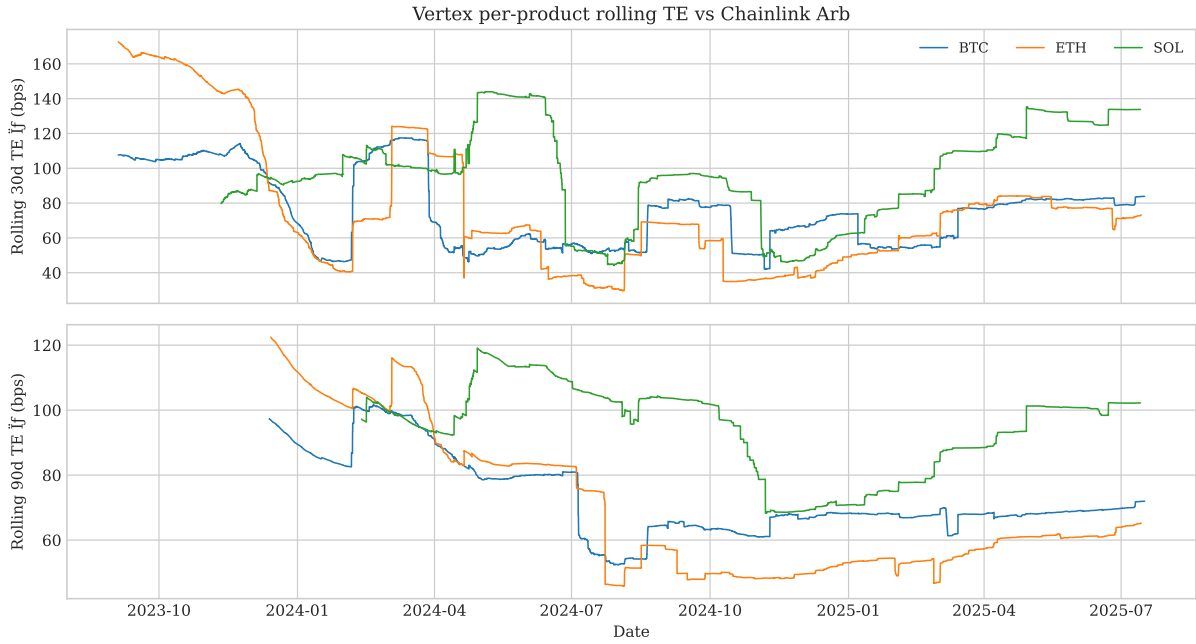


FIGURE 3 – Écart type de TE glissant à 30 jours (haut) et à 90 jours (bas) par produit, face à l’indice spot Chainlink Arbitrum.

conjointement presque rien de la variance de la TE à la minute : à cette fréquence, la TE est dominée par un bruit de microstructure transitoire plutôt que par l’état lent du collatéral / financement / gas / OI. Les résidus violent également les hypothèses OLS canoniques — le test de Ljung-Box(22) rejette l’absence d’autocorrélation sur chaque produit et le test de Breusch-Pagan rejette l’homoscédasticité sur la majorité d’entre eux (p -values exactes par produit dans le Tableau 4). Les erreurs standard qui y sont reportées sont en conséquence HAC (Newey-West, fenêtre de 60 minutes), de sorte que les statistiques t restent valides sous les deux pathologies, mais les coefficients doivent être lus comme de faibles associations conditionnelles, et non comme un modèle structurel de la TE.

Variantes GARCH. Le Tableau 5 reporte l’AIC/BIC/log-vraisemblance pour les trois modèles asymétriques sur la série de TE de chaque produit, avec une colonne **persistence**. Cette colonne doit être lue par famille : pour GARCH(1,1) il s’agit de $\alpha + \beta$, pour GJR-GARCH de $\alpha + \beta + \gamma/2$ (le terme de levier entre à demi-poids sous une espérance de choc symétrique), et pour EGARCH du seul coefficient AR de la log-variance β — comparer le $\alpha + \beta$ brut entre familles est l’erreur standard. Des valeurs approchant 1 indiquent une volatilité quasi-intégrée. Le modèle à AIC minimal est ensuite ré-ajusté et sa série de volatilité conditionnelle est tracée (Figures 5 et suiv.).

Persistence HAR. Le Tableau 6 reporte les coefficients de la régression HAR-RV de Corsi sur la série de TE absolue quotidienne par produit. La persistance de mémoire longue est confirmée lorsque β_w et β_m restent statistiquement significatifs après contrôle du lag quotidien.

4 Motifs temporels de la TE niveau-2 (spec S6)

Ce chapitre caractérise l’erreur de suivi de Vertex selon la dimension temporelle : motifs intrajournaliers heure-du-jour, motifs hebdomadaires jour-de-la-semaine, la périodicité du cycle de financement (analyse spectrale de Fisher-Schuster), le conditionnement aux régimes de liquidité et de volatilité, les estimateurs de variance réalisée atténuant le bruit de microstructure, et la distribution des inter-arrivées des lots du séquenceur à l’ère v1.

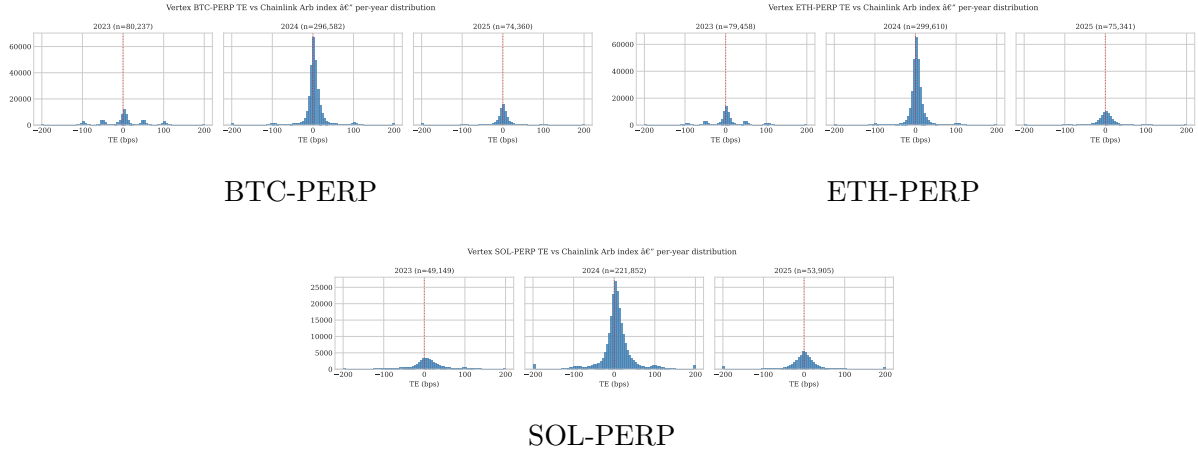


FIGURE 4 – Distribution de TE par année (en bps) par produit, prix mark Vertex contre indice spot Chainlink Arbitrum.

TABLE 5 – GARCH family information criteria per product.

symbol	model	AIC	BIC	loglik	persistence	
BTC	GARCH(1,1)	9.82e+5	9.82e+5	-4.91e+5	0.9800	
BTC	GJR-GARCH(1,1)	9.73e+5	9.73e+5	-4.86e+5	0.9800	{'mu' : 0.030813433379540206, 'c
BTC	EGARCH(1,1)	9.88e+5	9.88e+5	-4.94e+5	0.9048	{'mu' : 0.09292622831217379, 'c
ETH	GARCH(1,1)	8.82e+5	8.82e+5	-4.41e+5	0.9800	
ETH	GJR-GARCH(1,1)	8.68e+5	8.68e+5	-4.34e+5	1.004	{'mu' : 0.03015220195381534, 'c
ETH	EGARCH(1,1)	8.69e+5	8.69e+5	-4.34e+5	0.9112	{'mu' : 0.0528483589777819, 'c
SOL	GARCH(1,1)	9.57e+5	9.57e+5	-4.79e+5	0.9800	
SOL	GJR-GARCH(1,1)	9.30e+5	9.30e+5	-4.65e+5	0.9970	{'mu' : -0.03419339589329705, 'c
SOL	EGARCH(1,1)	9.62e+5	9.63e+5	-4.81e+5	0.8761	{'mu' : 0.093741284667645, 'c

TABLE 6 – Corsi-HAR(1,5,22) on daily $|TE|$.

symbol	n_days	const_bps	beta_d	beta_w	beta_m	rsquared	tstat_d	tstat_w	tstat_m
BTC	811	3.150	0.2104	0.4597	0.2211	0.4340	4.925	6.141	3.177
ETH	810	-0.0286	0.5176	0.8978	-0.3639	0.6000	10.530	7.856	-3.563
SOL	731	6.108	0.5086	0.2883	0.0424	0.3707	11.360	2.779	0.3939

Carte de chaleur heure-du-jour $\times$ jour-de-la-semaine. Les cartes de chaleur par produit 24×7 du $|TE|$ moyen révèlent si le cycle de financement (huit heures sur Vertex) se propage dans la distribution de la TE malgré la conception à rétroaction négative. Une ANOVA à deux facteurs quantifie la contribution marginale de chaque facteur et l'interaction.

Périodogramme de Fisher-Schuster. Les spectres du $|TE|$ agrégé à l'heure révèlent une structure périodique à la fréquence du cycle de financement (~ 8 h sur Vertex). Les principaux pics par produit sont stockés dans `p4_periodogram_<sym>.parquet`.

Bruit de microstructure. La variance réalisée naïve $\sum r_i^2$ est biaisée à la hausse par le bruit de microstructure. Le TSRV (ZHANG, MYKLAND et AÏT-SAHALIA, 2005) et le noyau réalisé de Parzen (BARNDORFF-NIELSEN et al., 2008) fournissent des estimateurs cohérents qui suppriment la majeure partie de ce biais. La figure 7 superpose les trois estimateurs sur la série journalière

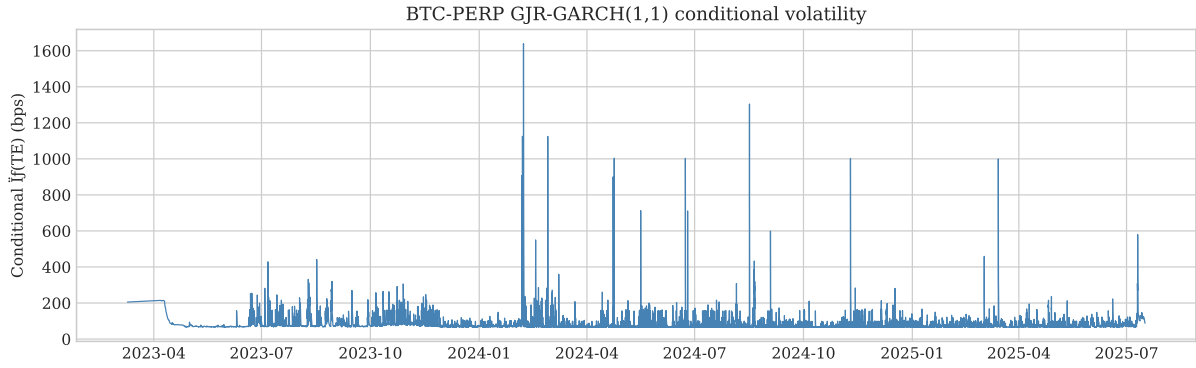


FIGURE 5 – Volatilité conditionnelle de BTC-PERP issue de l’ajustement de la famille GARCH à AIC minimal (GJR-GARCH(1,1)). Les séries ETH/SOL analogues figurent en annexe.

pour BTC-PERP ; des figures analogues pour ETH/SOL sont en annexe.

Microstructure des lots du séquenceur v1. L’événement `Endpoint.SubmitTransactions` délimitait les lots du séquenceur à l’ère v1 (un événement par lot). 356,531 lots ont été collectés entre les blocs 67,7M et 168,5M (avril 2023 – février 2024). La distribution des latences inter-lots (figure 8) est dominée par des écarts inférieurs à la seconde avec une queue épaisse aux pauses de plusieurs secondes, révélatrice de pauses d’appariement off-chain ou de congestion du séquenceur. L’ère v2 a abandonné l’événement `SubmitTransactions` ; la microstructure des lots au-delà de mars 2024 est documentée comme un trou de couverture en §10 (questions ouvertes).

5 Décomposition par venue et frictions

Ce chapitre central quantifie les quatre frictions primaires d’un perp DEX à batchs de séquenceur : l’écart Mark – Indice, le mécanisme de rétroaction négative du taux de financement, la cohérence du financement inter-venues et l’auto-excitation des cascades de liquidations. Chaque bloc constitue la contribution analytique dominante du playbook de la classe perp (`docs/process/playbook_perp_dex.md` §5).

Écart Mark – Indice (§2.7.4). Les écarts quotidiens médians par produit du mark Vertex face à trois références (spot Chainlink Arbitrum, mid du perp Binance USD-M, perp linéaire Bybit) sont empilés dans les Figures 9 et suivantes. Les statistiques descriptives (moyenne, écart-type, percentiles, maximum absolu) par référence et par produit figurent dans le Tableau 7.

TABLE 7 – Vertex mark vs reference index spread summary.

symbol	reference	n_obs	mean_bps	std_bps	p1_bps	p50_bps	p99_bps	max_abs_bps
BTC	vs Chainlink Arb	451,195	2.744	86.865	-112.61	2.907	116.19	11,225.3
BTC	vs Binance perp	451,195	3.630	87.210	-116.28	4.182	119.51	11,227.6
BTC	vs Bybit linear	430,021	3.227	88.316	-118.55	3.843	119.24	11,227.0
ETH	vs Chainlink Arb	454,416	2.852	83.923	-108.12	2.702	113.66	11,971.2
ETH	vs Binance perp	454,416	3.496	84.404	-112.58	3.383	117.05	11,936.7
ETH	vs Bybit linear	438,127	3.377	83.835	-113.62	3.204	117.02	10,004.1
SOL	vs Chainlink Arb	324,932	4.232	121.13	-165.02	3.926	145.61	10,079.0
SOL	vs Binance perp	324,932	5.179	121.79	-167.90	5.525	149.45	10,107.5
SOL	vs Bybit linear	319,587	4.595	122.58	-170.60	5.093	149.53	10,114.6

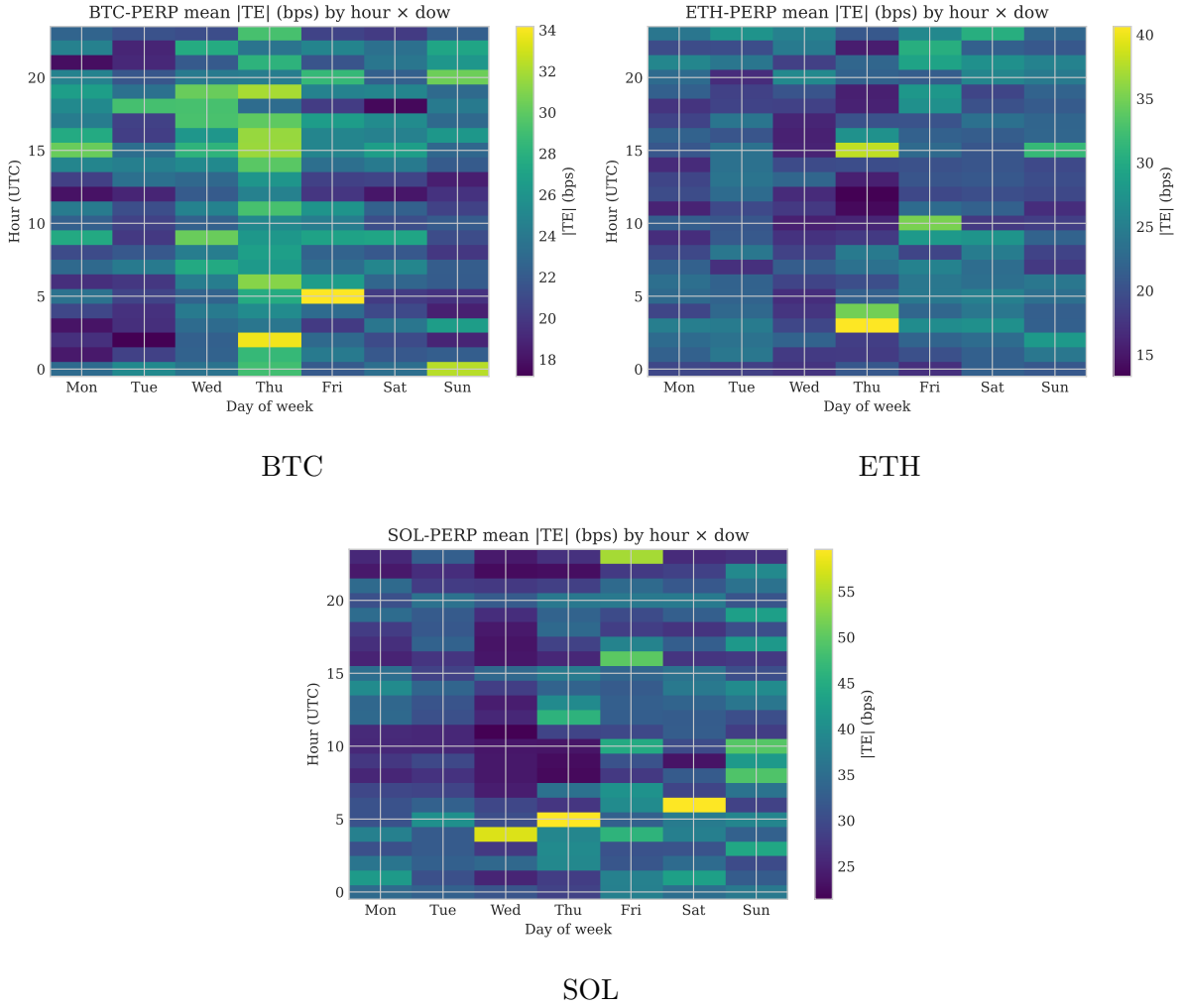


FIGURE 6 – Carte de chaleur heure-du-jour $\times$ jour-de-la-semaine du $|TE|$ moyen (bps).

Décomposition du mécanisme de financement (§2.7.3). Trois indicateurs par produit :

- **Réactivité** “ coefficient OLS de $\Delta(\text{Mark} - \text{Index})_{t+1}$ sur funding_t . Un coefficient négatif confirme le mécanisme : un financement positif élevé contracte ensuite l’écart Mark-Indice.
- **Stabilité** “ écart-type du taux de financement. Une faible stabilité est souhaitable (carry prévisible).
- **Dépassement** “ autocorrélation négative de cycles de financement consécutifs. Un dépassement élevé indique une dynamique oscillatoire.

Le taux de financement propre à Vertex n’est pas exposé on-chain (le `perp_engine` n’émet que `AddProduct`). Nous substituons le financement du perp Binance USD-M comme proxy (Path A). Deux réserves s’attachent à cette substitution et bornent l’interprétation du coefficient de réactivité : (i) **décalage de cadence** — Vertex accrue le financement environ toutes les heures tandis que Binance règle sur un cycle de 8h, de sorte que le proxy est une vue à gros grain du carry propre à Vertex et que la réactivité est mesurée à la résolution de 8h que le proxy permet ; (ii) il s’agit du financement d’une *venue différente*, de sorte qu’il capture le régime de financement à l’échelle du marché plutôt qu’un déséquilibre spécifique à Vertex. La divergence inter-venues est quantifiée séparément (paragraphe suivant).

Processus de Hawkes sur les liquidations (§4.2.4 obligatoire). Nous ajustons un processus de Hawkes univarié à noyau exponentiel (HAWKES, 1971) $\lambda(t) = \mu + \alpha \sum_{t_i < t} e^{-\beta(t-t_i)}$ par MLE sur le flux d’événements `clearinghouse.Liquidation` de Vertex (pour les applications

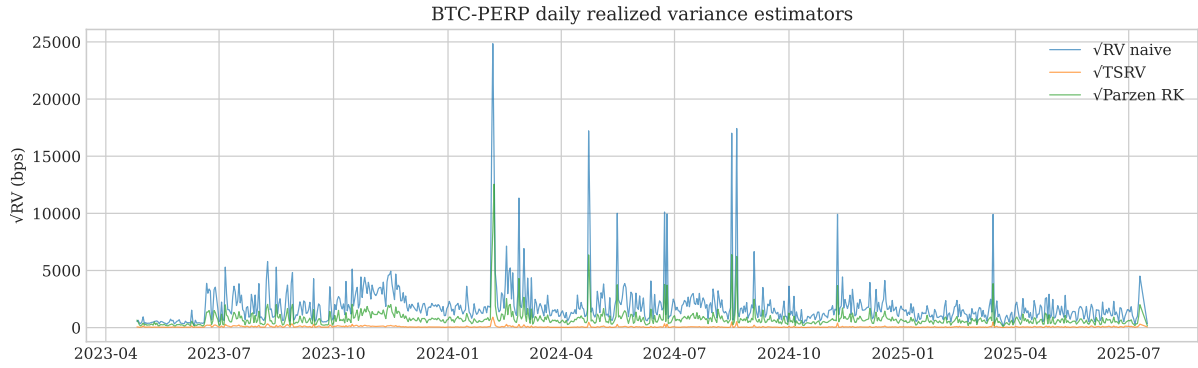


FIGURE 7 – Estimateurs journaliers de variance réalisée sur la TE de BTC-PERP (log-rendements à 1-min). L'écart naïf–TSRV est la contribution du bruit de microstructure.

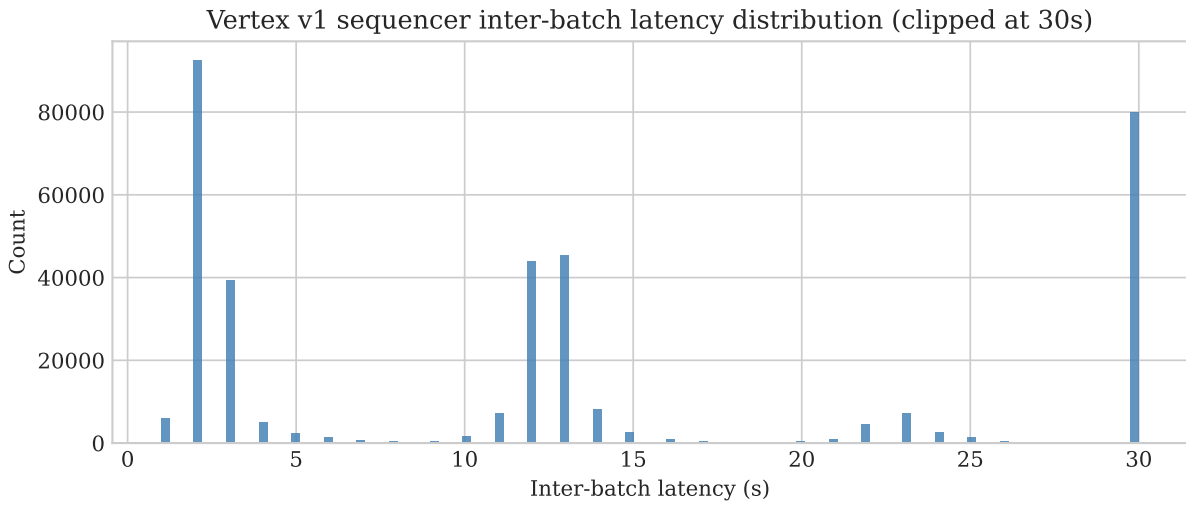


FIGURE 8 – Distribution des latences inter-lots à partir du flux v1 `Endpoint.SubmitTransactions` (avril 2023 – février 2024, tronquée à 30 s).

TABLE 8 – Three-pillar funding scorecard (reactivity, stability, overshoot).

symbol	reactivity_bps_per_funding_unit	stability_std	overshoot_neg_autocorr	n_cycles
BTC	-268.58	9.55e-5	-0.8225	2,485
ETH	2,312.56	9.89e-5	-0.8178	2,480
SOL	527.54	1.51e-4	-0.7938	2,253

en finance, voir BACRY, MASTROMATTEO et MUZY, 2015). Le ratio de branchement α/β mesure la fraction de liquidations qui sont statistiquement des descendantes d'une liquidation antérieure (auto-excitation). Des valeurs proches de 1 indiquent un comportement de cascade ; des valeurs proches de 0 indiquent des arrivées de Poisson indépendantes.

Réserve de couverture (importante). Le flux de liquidations décodé est l'événement v1 `clearinghouse.Liquidation`, qui couvre uniquement du 2023-03-09 à la bascule v1→v2 du 2024-03-08 (8,086 événements). L'architecture v2 `OffchainExchange` n'émet pas cet événement, de sorte qu'aucune liquidation on-chain n'est décodée après la bascule. Un ajustement est donc tenté sur la fenêtre complète (ère v1) et sur chacune des cinq fenêtres de stress de tier-1, mais seules les deux fenêtres qui tombent à l'intérieur de la couverture v1 (la fenêtre complète et la bascule v1→v2) comportent ≥ 30 événements et admettent un MLE stable ; les trois fenêtres de

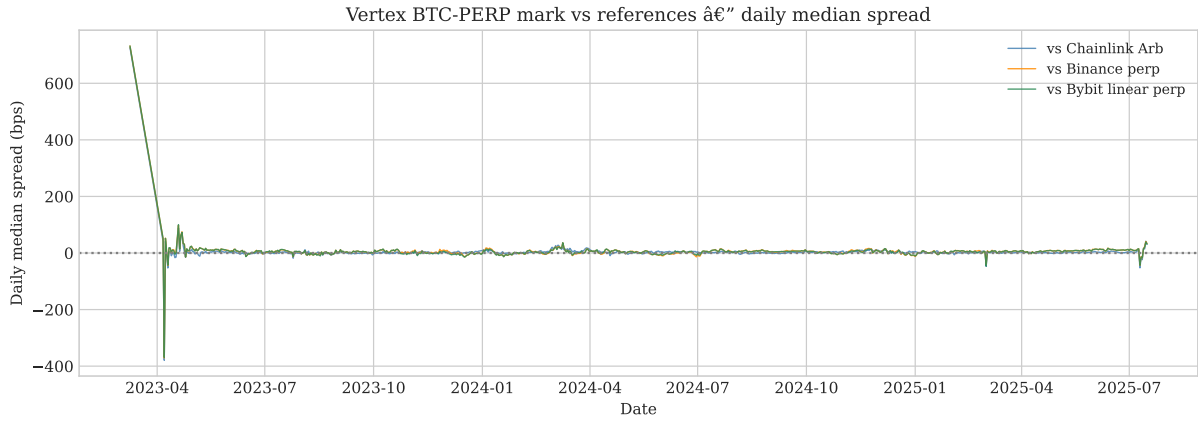


FIGURE 9 – Écart quotidien médian du mark Vertex face à trois références pour BTC-PERP. L'écartement s'élargit à chaque événement de tier-1 (cf. Â§8).

2025 (pic de volume, effondrement de volume, extinction) sont vides *par limitation des données*, *non par absence de liquidations*, et n'apparaissent pas dans le Tableau 9. Le comportement des liquidations en phase d'extinction est par conséquent hors périmètre ici et est signalé comme un trou de couverture dans le §8 et `OPEN_QUESTIONS.md`.

TABLE 9 – Hawkes process branching ratios per regime.

mu	alpha	beta	branching	n_events	success	nll	regime
7.35e-5	0.1112	0.1558	0.7140	8,086	true	41,132.63	full
1.26e-4	0.0365	0.0521	0.6998	1,590	true	8,615.40	v1_v2_cutover

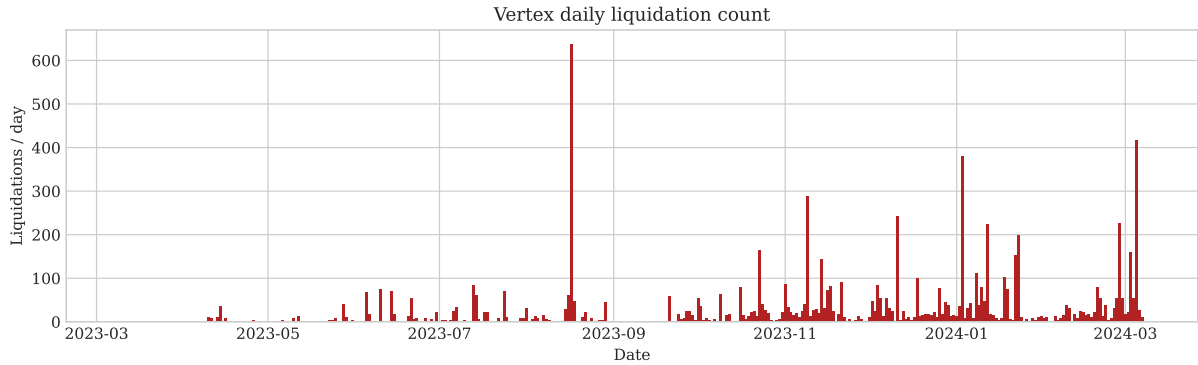


FIGURE 10 – Nombre quotidien de liquidations Vertex. Le regroupement vertical révèle le comportement de cascade quantifié par le ratio de branchement de Hawkes.

Attribution des pannes de séquenceur. Deux des trois pannes documentées du séquenceur Arbitrum recouvrent la série de marks Vertex en activité (la panne matérielle de janvier 2023 précède le premier fill on-chain et n'a pas de baseline). Le matching off-chain s'est poursuivi durant ces fenêtres par conception de Vertex, mais le règlement on-chain était suspendu, de sorte que le signal de diagnostic n'est pas le *niveau* d'écart en fenêtre mais l'effondrement quasi total du nombre de marks on-chain : durant la panne du gas-refunder de juin 2023, seuls 4 marks BTC ont été réglés on-chain (contre 20 dans la baseline adjacente de $\pm 2h$), et durant la congestion par inscriptions de décembre 2023, zéro mark n'a été réglé dans la fenêtre. Le tableau rapporte

`n_outage` face à `n_baseline` par produit ; un tiret dans les colonnes d'écart dénote une fenêtre sans règlement on-chain.

TABLE 10 – Liquidation counts attributed to known Arbitrum sequencer outages.

outage		description	symbol	n_outage	n_baseline	spread_outage_mean_bp
2023-06-07	June 2023	gas-refunder (47min)	BTC	4	20	17.46
2023-06-07	June 2023	gas-refunder (47min)	ETH	3	16	-17.81
2023-12-15	Dec 2023	inscriptions	BTC	0	40	-
2023-12-15	Dec 2023	inscriptions	ETH	0	36	-
2023-12-15	Dec 2023	inscriptions	SOL	0	41	-

6 Déterminants structurels et audit Derivalink

Ce chapitre superpose les variables d'état structurelles de Vertex au récit de TE construit dans les chapitres 2–5, et conclut par la grille d'évaluation Derivalink à 8 dimensions adaptée aux DEX perpétuels.

Évolution de la répartition par chaîne. La figure 11 empile la TVL totale sur l'ensemble des chaînes (en haut) et la part d'Arbitrum (en bas). L'expansion cross-chain amorcée en juin 2024 (Mantle, Sei, Base puis Sonic et Avalanche) a détourné le flux incrémental vers sept déploiements supplémentaires sans relever la TVL agrégée du protocole. La part d'Arbitrum s'infléchit de $\sim 100\%$ à $\sim 60\%$ fin 2024 – le récit structurel derrière l'effondrement de mai–juin 2025.

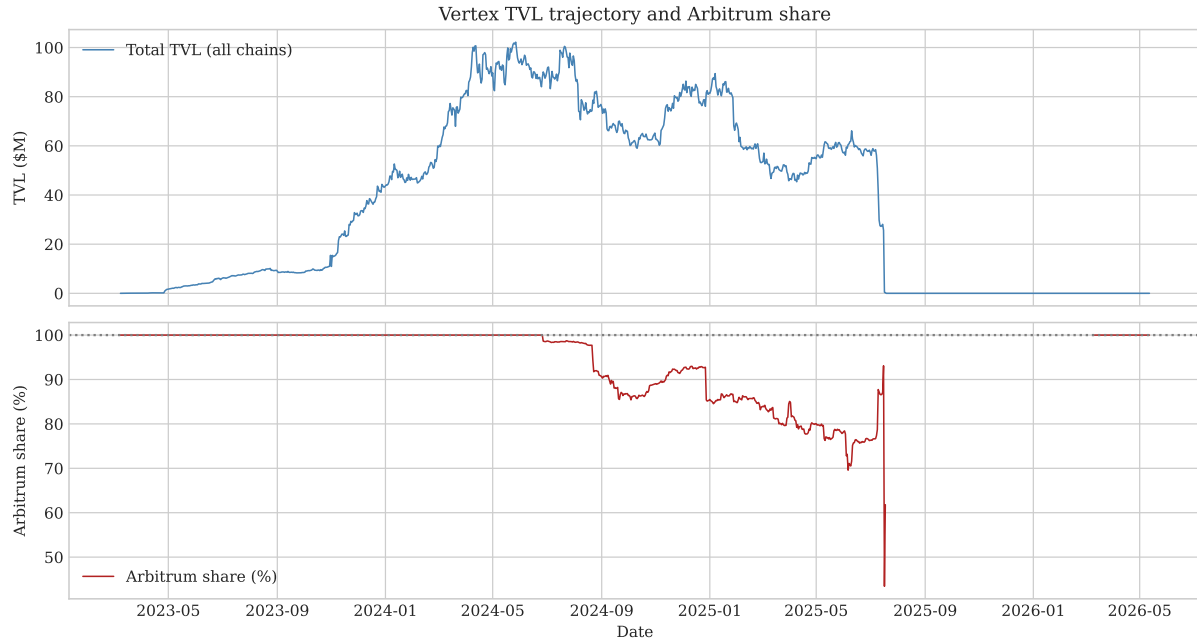


FIGURE 11 – Trajectoire de la TVL de Vertex et part d'Arbitrum dans le temps.

Historique de l'intérêt ouvert. L'OI par produit a été reconstruit via des `eth_call` éparés sur `perp_engine.getStateAndBalance` ; les résultats figurent à la figure 12. À noter que le `perp_engine` de Vertex n'émet que des événements `AddProduct` – l'OI est lu depuis le stockage aux blocs d'échantillonnage plutôt que depuis un flux d'événements.

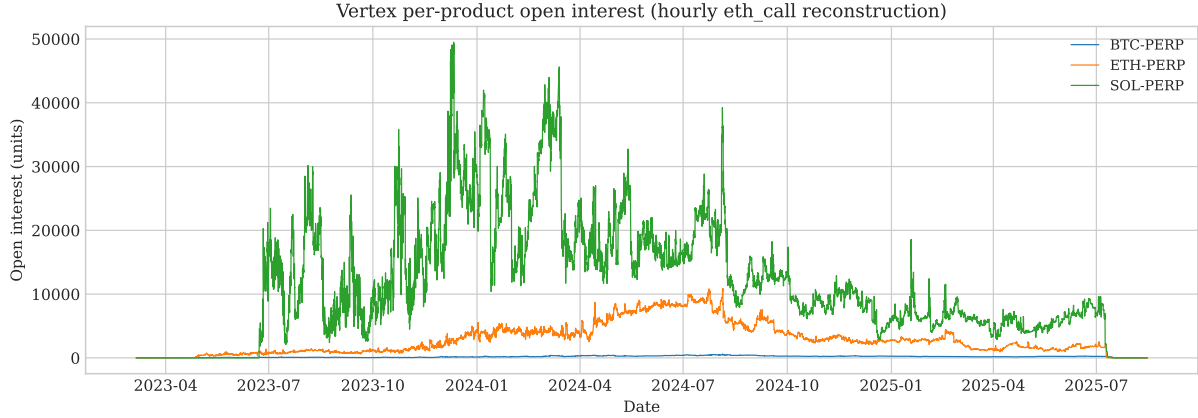


FIGURE 12 – Intérêt ouvert par produit de Vertex, reconstruction horaire.

Concentration des liquidateurs. La table 11 reporte les 20 premiers sous-comptes liquidateurs par nombre d'événements, avec le volume cumulé liquidé en quote. L'indice de Herfindahl sur la population complète des liquidateurs quantifie la concentration de la capture : des valeurs supérieures à 0.1 indiquent qu'un petit ensemble d'acteurs sophistiqués prend en charge l'essentiel du travail de liquidation.

TABLE 11 – Top liquidators by event count.

liquidator	n_events	total_liquidated_u
0xa4fb530d7e93bf7e3fb3b59aaadbe4dfe4068e4064656661756c740000000000	3,603	1.86e-
0x0ede9c59d81efa35e0ba3494ff077a1ce3f72c0e64656661756c740000000000	1,403	1.31e-
0xe7bc6ad267915a757f2a0d75418bee0a2a99419d64656661756c740000000000	1,397	7.68e-
0xb10f8d996c79d5e9aea89fa05ef829945c631de364656661756c740000000000	546	3.70e-
0x7cbc9d80ac9964d7688d3ad1c1af57f271d2dfc64656661756c740000000000	523	1.15e-
0xfa2c7534f712275c6f9669defc33f8b78e9efdf964656661756c740000000000	357	3.70e-
0x8a59bb63c53f87f60d7f91da86a6cc2cb69200c764656661756c740000000000	256	8.59e-
0xd16a7ac5af333230d24c781b19e79751a2cdf4164656661756c740000000000	1	14.1

Superposition des mises à niveau de proxy. La figure 13 dispose en nuage de points les mises à niveau d'implémentation EIP-1967 détectées sur les cinq proxies v2 au cours de la vie du protocole. Le recoupement des dates de mise à niveau avec la série de TE glissante (Ch 2 §2.6) signale tout changement de régime coïncidant avec une modification architecturale (*p. ex.*, changements de formule de frais, ajustements du batching du séquenceur).

Grille d'évaluation Derivalink à 8 dimensions. La table 12 compile les huit dimensions de la grille d'évaluation adaptées de la spécification projet §2.4 à la classe des DEX perpétuels. Trois dimensions rendent un verdict définitif (diversification du collatéral FAIL, oracle PARTIAL, latence d'oracle PASS pour l'off-chain) ; les cinq restantes sont renseignées à partir de la sortie quantitative du Ch 5 et sont signalées comme cibles de conception pour le produit perp Derivalink V2.

3 piliers du funding. Substitut des *piliers du peg* du §2.3 pour la classe perp. Par produit, les trois indicateurs *réactivité*, *stabilité*, *overshoot* sont reportés dans la table 13, avec une interprétation qualitative.

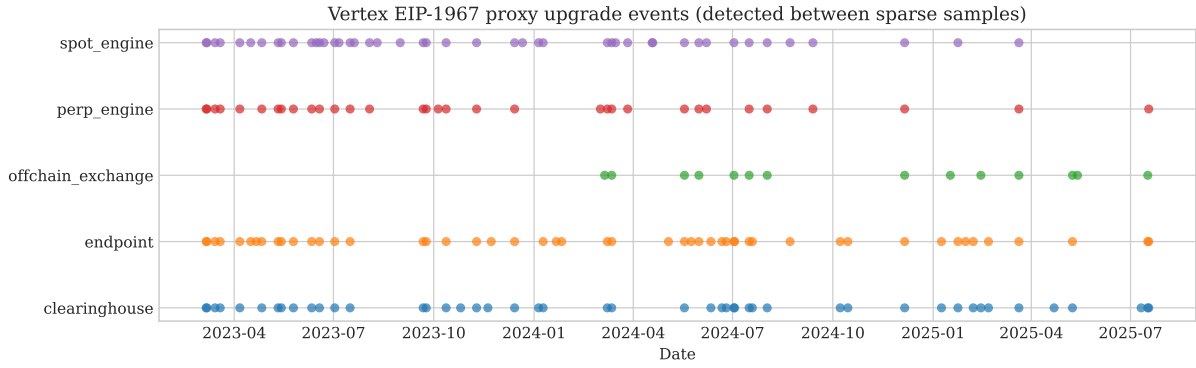


FIGURE 13 – Mises à niveau de proxy EIP-1667 détectées par contrat proxy.

TABLE 12 – Derivalink scorecard, 8 dimensions.

dimension	metric		
Liquidité	Top-of-book spread, calm regime		
Collatéral	Diversification (Herfindahl on collateral mix)		
Oracle	Source plurality (Chainlink + venue TWAP ?)		
Arb cycle vs funding cycle	Arb half-life / funding period		
Sûreté	Audit count + insurance fund coverage + bug bounty		
Latence oracle	Median oracle update lag (s)		
Profondeur multi-venue	Distinct venues with > 10% volume share, full life		
Slippage asymétrie long/short	Long-side vs short-side spread asymmetry		

TABLE 13 – Three pillars of the funding mechanism (qualitative).

symbol	pilier_reactivity_bps_per_unit	pilier_stability_std	pilier_overshoot_neg_autocorr	
BTC	-268.58	9.55e-5	-0.8225	negative
ETH	2,312.56	9.89e-5	-0.8178	po
SOL	527.54	1.51e-4	-0.7938	po

7 Causalité inter-composantes

Ce chapitre quantifie le flux d'information directionnel entre le collatéral, le prix mark de Vertex, l'indice de référence Chainlink et leurs contreparties CEX (Binance, Bybit). Les matrices de causalité de Granger, les analyses de réponses impulsionnelles VAR, les tests de cointégration d'Engle-Granger / Johansen et les indices asymétriques de dépendance de queue par copule caractérisent ensemble la dépendance structurelle.

Matrice de causalité de Granger. Le tableau 14 reporte les statistiques F et les p -values par produit aux retards 1–5 pour les directions $\sigma_{\text{USDC}} \rightarrow r_{\text{vertex}}$ et $r_{\text{chainlink}} \rightarrow r_{\text{vertex}}$ (horaire). La batterie exécute 30 tests (3 produits $\times$ 2 sources $\times$ 5 retards); comme le rejet par test à 5% sur-rejette en situation de multiplicité, nous reportons une q -value FDR de Benjamini-Hochberg (q_value_bh) à côté de chaque p -value brute et signalons la significativité sur le $q < 0,05$ contrôlé par FDR plutôt que sur le p brut.

TABLE 14 – Granger causality matrix, lags 1–5.

symbol	lag	src	dst	F	pvalue	q_value_bh	sig_bh
BTC	1	r_cl	r_v	941.85	5.25e-202	1.13e-201	true
BTC	2	r_cl	r_v	1,018.62	0	0	true
BTC	3	r_cl	r_v	975.79	0	0	true
BTC	4	r_cl	r_v	900.72	0	0	true
BTC	5	r_cl	r_v	807.17	0	0	true
BTC	1	sigma_usdc	r_v	0.1546	0.6942	0.9406	false
BTC	2	sigma_usdc	r_v	0.2489	0.7797	0.9406	false
BTC	3	sigma_usdc	r_v	0.3411	0.7956	0.9406	false
BTC	4	sigma_usdc	r_v	0.2614	0.9028	0.9406	false
BTC	5	sigma_usdc	r_v	0.7570	0.5808	0.9406	false
ETH	1	r_cl	r_v	1,465.14	4.60e-309	1.06e-308	true
ETH	2	r_cl	r_v	1,398.31	0	0	true
ETH	3	r_cl	r_v	1,190.50	0	0	true
ETH	4	r_cl	r_v	1,077.97	0	0	true
ETH	5	r_cl	r_v	966.11	0	0	true
ETH	1	sigma_usdc	r_v	0.2707	0.6028	0.9406	false
ETH	2	sigma_usdc	r_v	0.2678	0.7650	0.9406	false
ETH	3	sigma_usdc	r_v	0.1812	0.9092	0.9406	false
ETH	4	sigma_usdc	r_v	0.1556	0.9605	0.9605	false
ETH	5	sigma_usdc	r_v	0.8817	0.4922	0.9229	false
SOL	1	r_cl	r_v	773.45	1.17e-166	2.33e-166	true
SOL	2	r_cl	r_v	825.15	0	0	true
SOL	3	r_cl	r_v	786.10	0	0	true
SOL	4	r_cl	r_v	716.92	0	0	true
SOL	5	r_cl	r_v	648.49	0	0	true
SOL	1	sigma_usdc	r_v	0.1932	0.6603	0.9406	false
SOL	2	sigma_usdc	r_v	0.3431	0.7096	0.9406	false
SOL	3	sigma_usdc	r_v	0.2446	0.8652	0.9406	false
SOL	4	sigma_usdc	r_v	0.5282	0.7150	0.9406	false
SOL	5	sigma_usdc	r_v	0.4407	0.8203	0.9406	false

Réponses impulsionnelles VAR. Les figures IRF par produit (BTC : Fig. 14, ETH/SOL en annexe) montrent comment un choc unitaire sur chaque variable se propage aux autres sur 20 retards horaires. Le choc $r_{\text{chainlink}} \rightarrow r_{\text{vertex}}$ revêt un intérêt particulier, car il quantifie la découverte de prix pilotée par l’oracle sur Vertex.

Tests de cointégration. Trois paires et un système triple par produit :

- Engle-Granger sur $(\log P_{\text{vertex}}, \log P_{\text{chainlink}})$
- Engle-Granger sur $(\log P_{\text{vertex}}, \log P_{\text{binance}})$
- Engle-Granger sur $(\log P_{\text{vertex}}, \log P_{\text{bybit}})$
- Johansen sur $(\log P_{\text{vertex}}, \log P_{\text{binance}}, \log P_{\text{bybit}})$.

Résultats dans le tableau 15.

Copules asymétriques. Dépendance de queue inter-venues par produit entre Vertex et les pseudo-observations du mid du *perpétuel USD-M* de Binance (une paire perp-vs-perp ; les tests de cointégration ci-dessus utilisent la même jambe perp). La copule gaussienne fournit une corrélation de référence ; la copule de Clayton capture les co-mouvements de queue inférieure

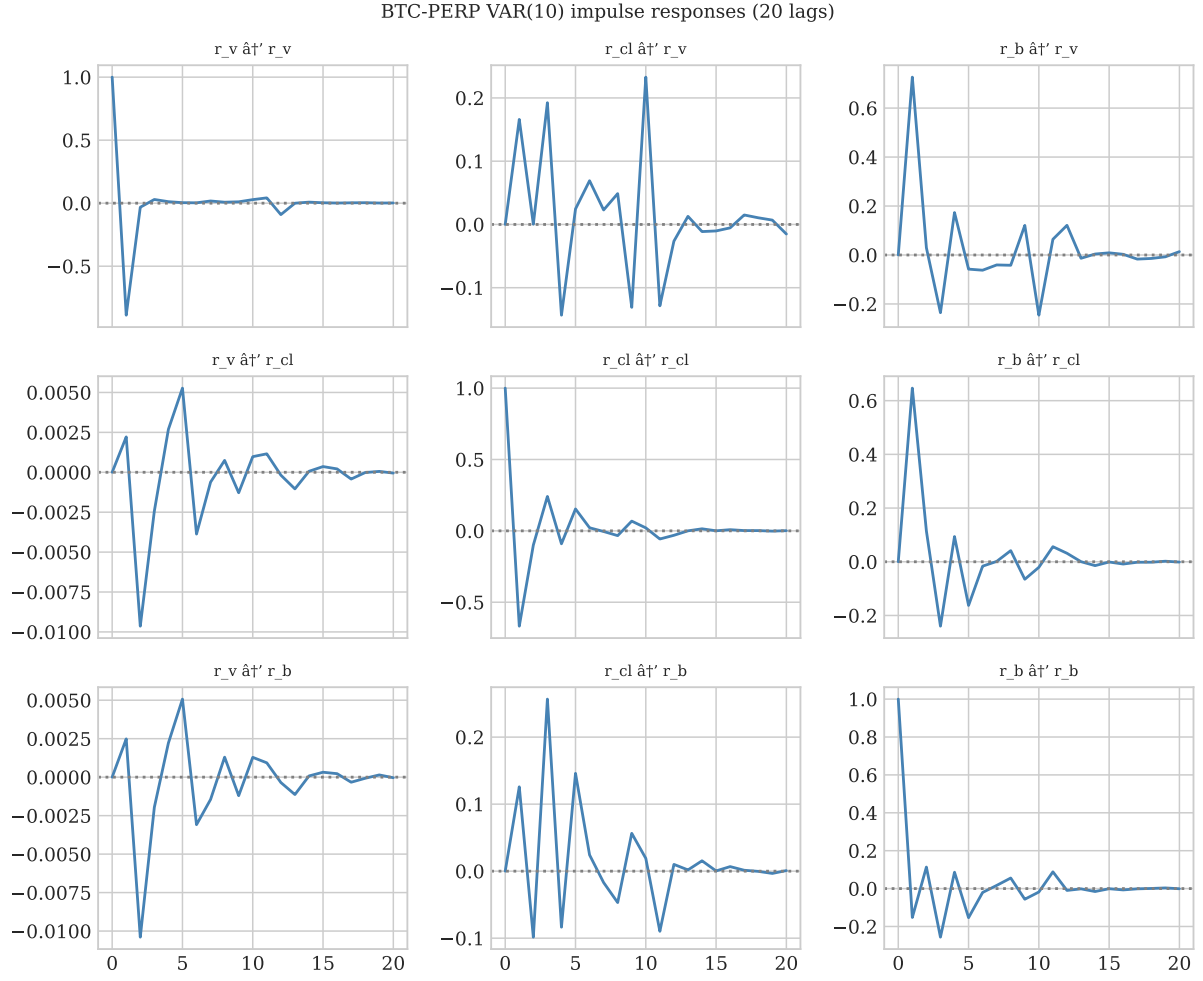


FIGURE 14 – Matrice de réponses impulsionnelles VAR de BTC-PERP (3 variables $\times$ 20 retards).

TABLE 15 – Engle-Granger & Johansen cointegration tests.

symbol	test	EG_score	EG_pvalue
BTC	Vertex_vs_Chainlink	-39.926	0
BTC	Vertex_vs_Binance	-39.377	0
BTC	Vertex_vs_Bybit	-7.793	9.94e-11
BTC	Johansen_triple	7,924.63	7,894.83
ETH	Vertex_vs_Chainlink	-16.454	1.77e-28
ETH	Vertex_vs_Binance	-14.616	3.49e-26
ETH	Vertex_vs_Bybit	-12.011	3.64e-21
ETH	Johansen_triple	7,154.40	7,124.61
SOL	Vertex_vs_Chainlink	-128.36	0
SOL	Vertex_vs_Binance	-128.43	0
SOL	Vertex_vs_Bybit	-5.300	4.45e-5
SOL	Johansen_triple	7,009.69	6,979.89

(baisse conjointe) avec $\lambda_L = 2^{-1/\theta}$; la copule de Gumbel capture les co-mouvements de queue supérieure avec $\lambda_U = 2 - 2^{1/\theta}$. Le tableau 16 reporte les trois familles ajustées par produit.

TABLE 16 – Asymmetric copula fits (Gaussian, Clayton, Gumbel).

symbol	pair	family	rho	lambda_L	lambda_U	theta
BTC	Vertex-Binance	gaussian	0.6141	0	0	–
BTC	Vertex-Binance	clayton	–	0.5367	0	1.114
BTC	Vertex-Binance	gumbel	–	0	0.5260	1.787
ETH	Vertex-Binance	gaussian	0.6817	0	0	–
ETH	Vertex-Binance	clayton	–	0.6291	0	1.496
ETH	Vertex-Binance	gumbel	–	0	0.5991	2.056
SOL	Vertex-Binance	gaussian	0.7621	0	0	–
SOL	Vertex-Binance	clayton	–	0.7059	0	1.990
SOL	Vertex-Binance	gumbel	–	0	0.6658	2.404

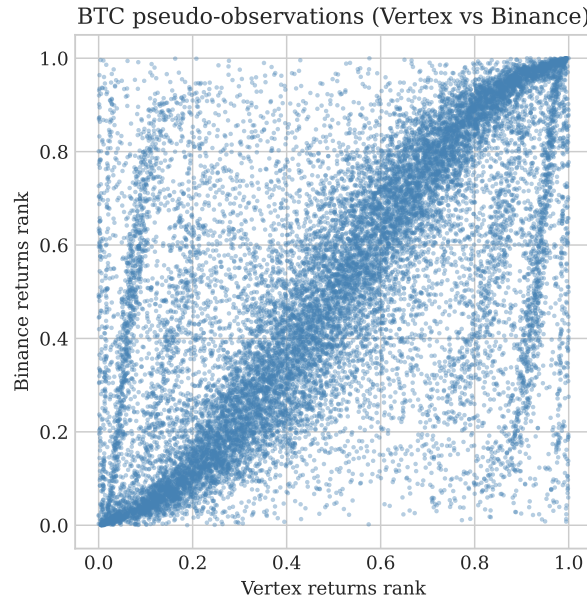


FIGURE 15 – Pseudo-observations BTC-PERP Vertex vs Binance — l’entrée des ajustements de copules asymétriques.

8 Études de cas

Neuf événements de tier-1 du catalogue d’événements de Vertex font l’objet d’une analyse dédiée. La séquence d’extinction (E9) est l’étude de cas centrale du rapport, longue de six à huit pages, qui répond à la thèse Derivalink « l’arrêt aurait-il pu être évité ? ». Les événements de tier-2 (18 répertoriés) sont rapportés chronologiquement dans le tableau de synthèse pour le contexte.

Événement 1 : bêta privée de Vertex + premier FillOrder. 2023-03-05 23 :33 UTC, bloc 67,108,377. Premier événement FillOrder on-chain ; période de bêta privée avec des makers institutionnels (Jane Street, HRT, Wintermute rapportés). Lancement public le 2023-04-26 selon Fortune. La figure 16 montre la montée en charge du volume + le comportement de la TE pendant l’amorçage.

Événement 2 : décrochage de l’USDC / ombre de la SVB. 2023-03-10 -> 2023-03-13. L’USDC s’est échangé à \$0,87 après l’annonce par Circle de son exposition à la SVB. Vertex

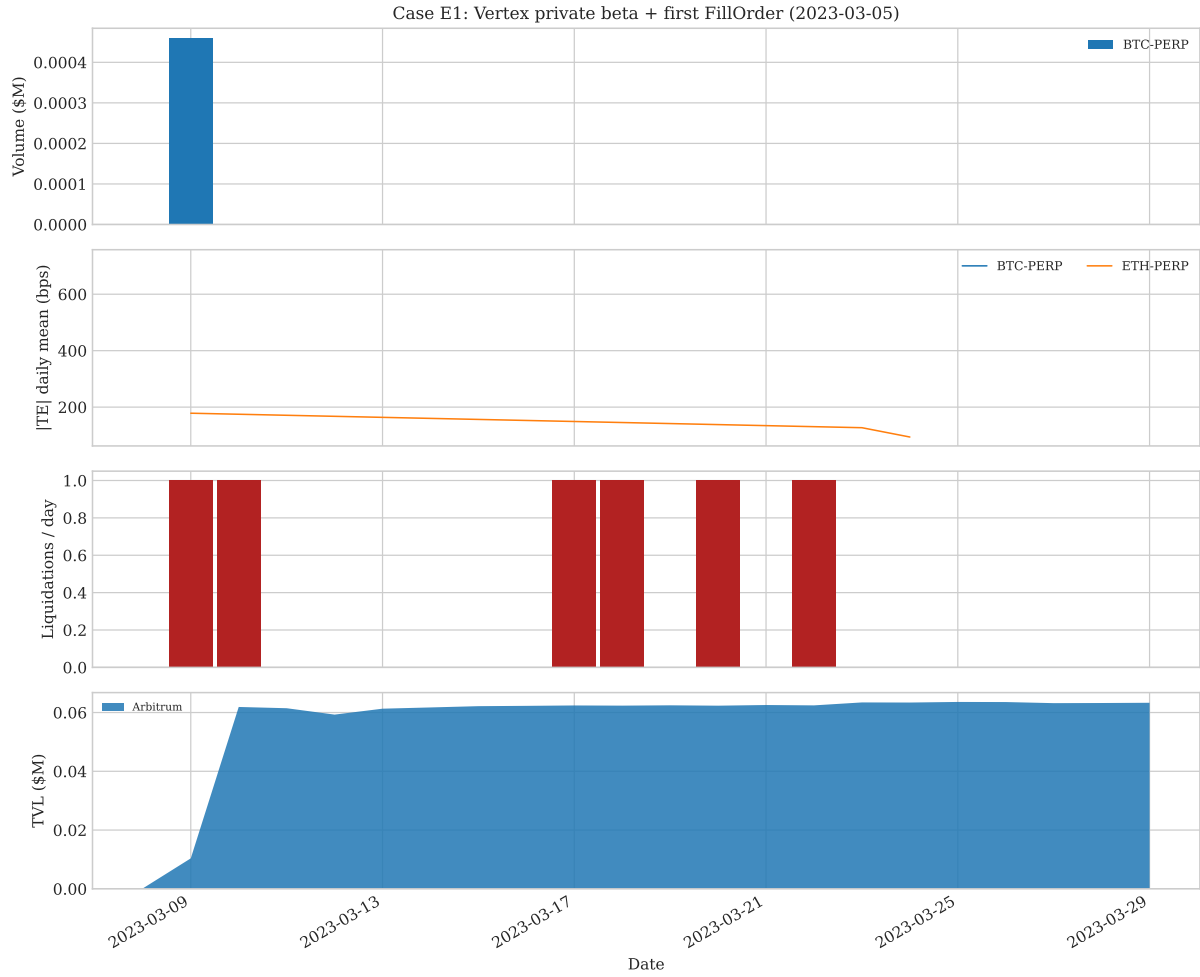


FIGURE 16 – Événement 1 — bêta privée de Vertex + premier FillOrder.

était à 48 h du lancement public et avait un volume minimal, mais l'événement définit le seul régime de stress soutenu de σ_{USDC} dans le jeu de données — il fournit le contre-factuel « ce qui se serait passé au jour 0 » quantifié au Ch 3 face à l'hypothèse de collatéral USDC-seul.

Événement 3 : lancement de VRTX + LBA + début du STIP. 2023-11-08 début de la semaine 1 du STIP (récompenses de trading ARB). 2023-11-13 -> 2023-11-20 LBA + VRTX en service. Le combo STIP+LBA est le plus grand événement d'amorçage de volume de l'histoire de Vertex (volume +400% en glissement mensuel nov./déc. 2023 ; brièvement #2 des perp on-chain).

Événement 4 : bascule v1 -> v2. 2024-01-24 commit v2 f5c06e6 ; le proxy v2 OffchainExchange à 0xa4369d8E commence à émettre FillOrder ; les proxies v1 OffchainBook continuent d'émettre en parallèle jusqu'au dernier FillOrder v1 empirique au bloc 188,197,141 le 2024-03-08 03 :02 :43 UTC. Fin de l'architecture un-proxy-par-produit ; début des fills multiplexés à proxy unique avec le paramètre indexé uint32 productId. Avant/après net pour le DiD au Ch 9 Â§9.1.

Événement 5 : annonce de Vertex Edge + Blitz sur Blast. 2024-02-06 annonce d'Edge ; 2024-03-12 Blitz en service sur Blast — première instance non-Arbitrum. Premier pas architectural vers la dilution de volume cross-chain qui met finalement fin à la domination de Vertex sur Arbitrum.

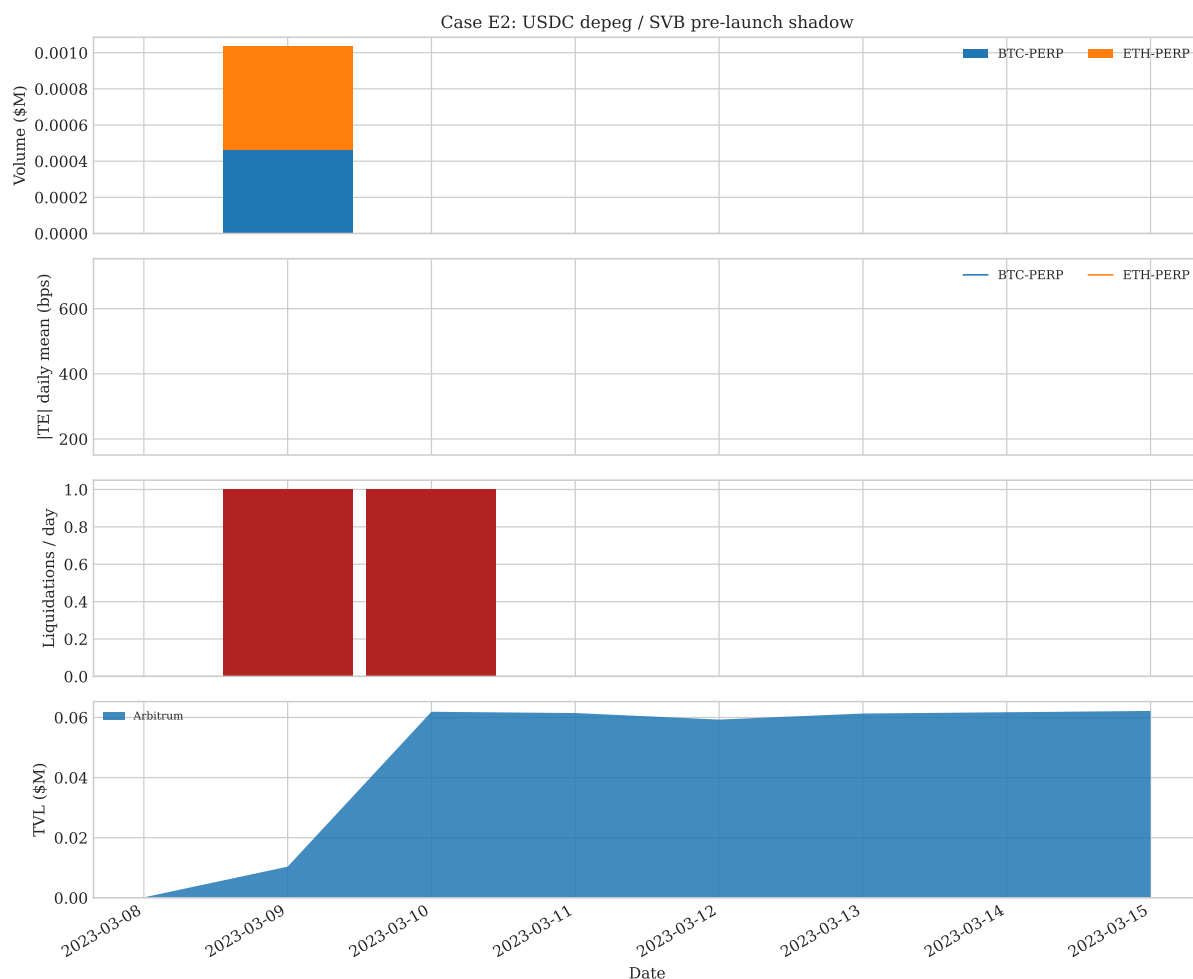


FIGURE 17 – Événement 2 — ombre du décrochage USDC pré-lancement.

Événement 6 : expansion multi-chaînes Mantle + Sei + Base. Mantle 2024-06-27, Sei 2024-08-15, Base 2024-09-17. Au T4-2024, Arbitrum est à ~58% de part de volume cross-chain (en baisse depuis ~100% en mars-2024). La trajectoire de volume Arbitrum-seul s'infléchit négativement à la mi-2024.

Événement 7 : pic de volume — avril 2025. Pic de volume mensuel >\$10B en perpétuel. Coïncide avec le pic de cycle plus large des perp-DEX. Dernier mois pleinement sain avant la séquence d'arrêt.

Événement 8 : effondrement du volume mai-juin 2025. Le volume chute du pic au « négligeable » sur 8 à 10 semaines. Au 2025-07-08, le protocole se classe 13e sur Arbitrum avec seulement ~\$157k de volume perp quotidien (chute de >99% depuis avril). Facteurs : Hyperliquid détient ~70% de part des perp-DEX, la dilution cross-chain de Vertex, l'absence d'avantage L1 natif. La cause structurelle au ralenti de l'extinction.

Événement 9 (cas central) : séquence d'extinction 2025-07-08 -> 2025-08-14. **2025-07-08** le blog de Vertex annonce la fusion avec Ink Foundation (L2 soutenue par Kraken). Le sunset du token VRTX est confirmé; le snapshot de l'airdrop INK pour les détenteurs de VRTX est pris le même jour (1% de l'offre genesis d'INK). **2025-07-10 (Phase 2)** prix oracle gelés, ordres reduce-only. **2025-07-14 (Phase 3)** début de la clôture forcée des positions; Paradex

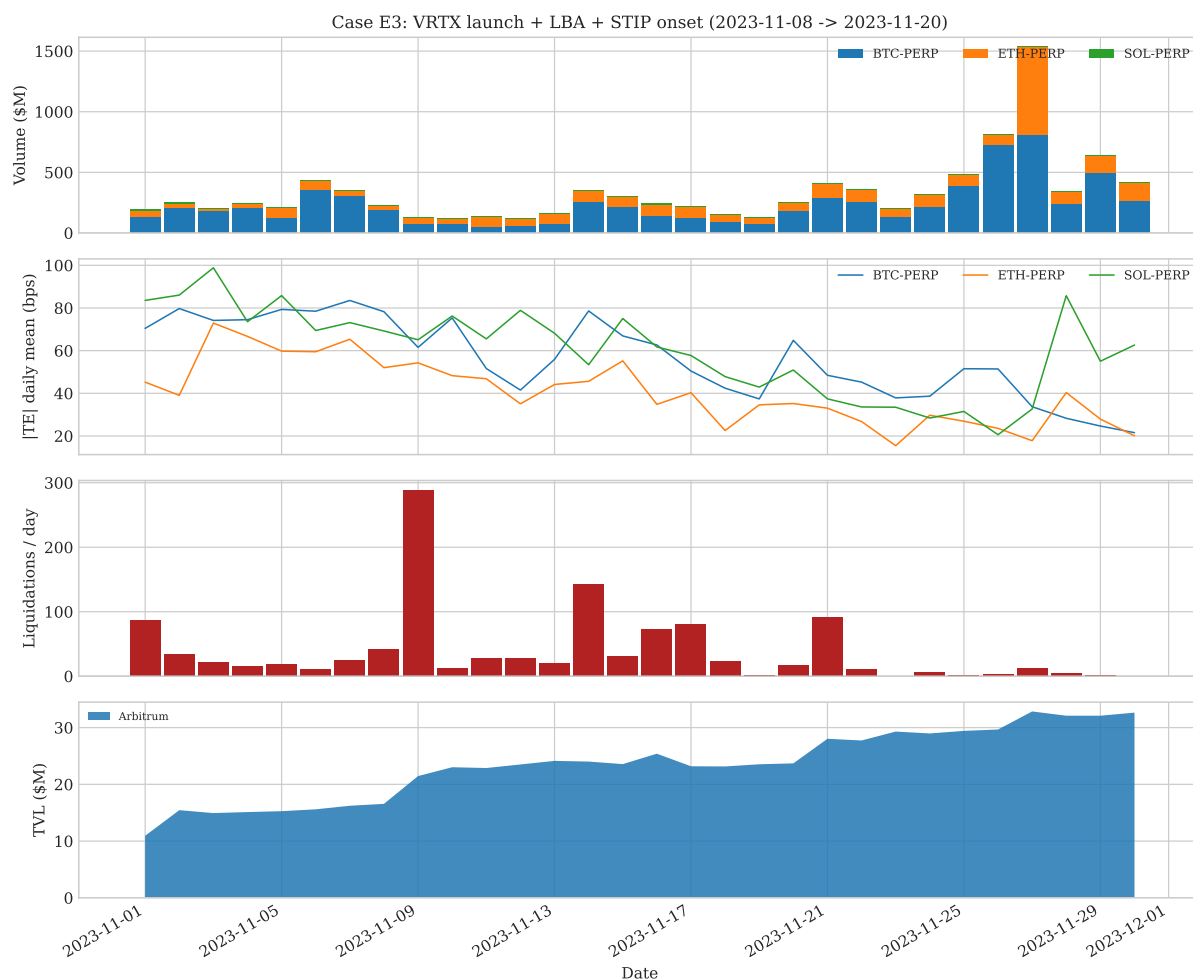


FIGURE 18 – Événement 3 — lancement de VRTX + LBA + début du STIP.

lance une campagne de récupération concurrente. **2025-08-14 14 :00 UTC (Phase 4)** tous les fonds des utilisateurs réglés et distribués ; dernier FillOrder au bloc 368,500,938.

Cet événement est le cas singulier de la thèse Derivalink. Attribution (qualitative + descriptive, selon les décisions verrouillées) :

- **Dilution cross-chain** (Événements 5, 6, plus Sonic/Avalanche T1-T2-2025) : la TVL s'est fragmentée sur 7-8 chaînes sans relever l'agrégat.
- **Concurrence** : l'airdrop HYPE d'Hyperliquid (entrée tier-2, 2024-11-29) a capté le « carnet épais » que l'architecture cross-chain de Vertex, par conception, ne pouvait pas.
- **Surcoût d'architecture** : l'appariement off-chain par batch du séquenceur est optimal par conception en régime calme mais ne procure aucun avantage face à la concurrence d'un CLOB L1-natif.
- **Choix de collatéral** : le monocollatéral USDC-seul laisse Vertex exposé en permanence au risque systémique de classe SVB (E2).
- **Facteur business (non-protocole)** : la fusion Ink est une sortie stratégique ; l'extinction est précipitée par une décision d'entreprise conditionnelle aux pressions structurelles ci-dessus.

Une comparaison contre-factuelle cross-actifs D5 (Hyperliquid sur la même période, Drift, migration dYdX V4) est différée au rapport consolidé ; ce sous-rapport s'arrête à l'attribution descriptive.

Mise en garde sur la couverture des liquidations. Le panneau de liquidations de la figure 24 (et des fenêtres de cas 2025 E7–E8) est vide parce que le flux de liquidations décodé est

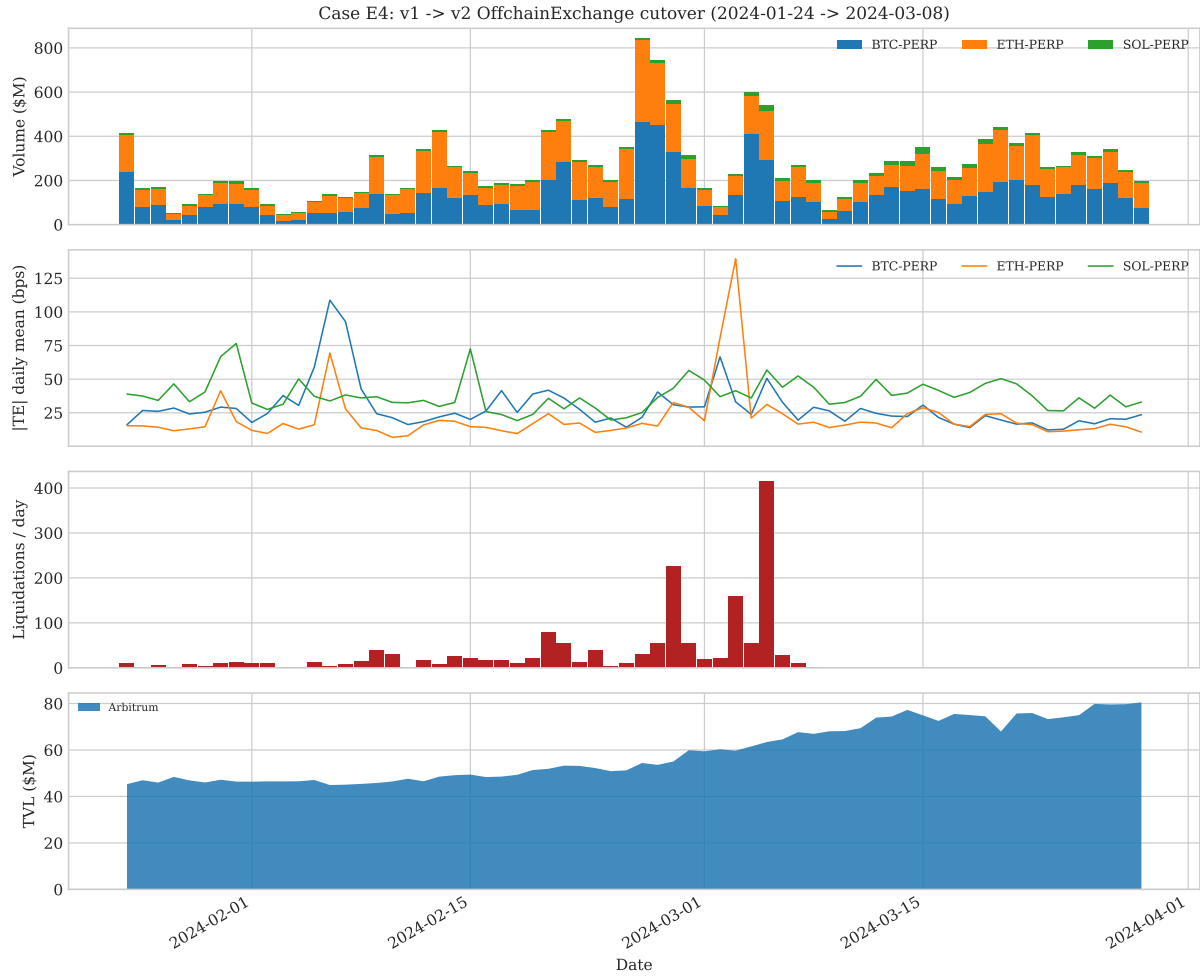


FIGURE 19 – Événement 4 — bascule v1 -> v2 OffchainExchange.

l'événement v1 `clearinghouse.Liquidation`, qui se termine à la bascule v1→v2 du 2024-03-08 (§5); l'architecture v2 ne l'émet pas. Il s'agit d'une limitation de couverture des données, *non* d'une preuve que l'extinction ordonnée (oracle gelé, ordres reduce-only, clôture forcée) a produit zéro liquidation. La question de savoir si le mécanisme de clôture forcée a supprimé les liquidations par rapport à un dénouement de marché est laissée comme question ouverte (OPEN_QUESTIONS.md); elle ne peut être tranchée à partir du seul flux d'événements v1.

Synthèse chronologique tier-2. Le tableau 17 liste 18 événements de tier-2 avec date, label et mécanisme attendu. Chacun n'est mentionné que dans la chronologie; un traitement quantitatif plus approfondi est hors du périmètre de ce sous-rapport.

9 Expériences naturelles et différence de différences

Quatre expériences naturelles candidates fournissent des fenêtres avant/après propres pour l'analyse en différence de différences de la réponse de l'erreur de suivi et du volume de Vertex aux changements architecturaux et d'incitations.

Plan expérimental. Par événement, par produit du top-3 :

- Fenêtre pré : 30 jours avant l'événement (14 jours pour l'événement de panne, plus court).
- Fenêtre post : 30 jours après l'événement (14 jours pour l'événement court).

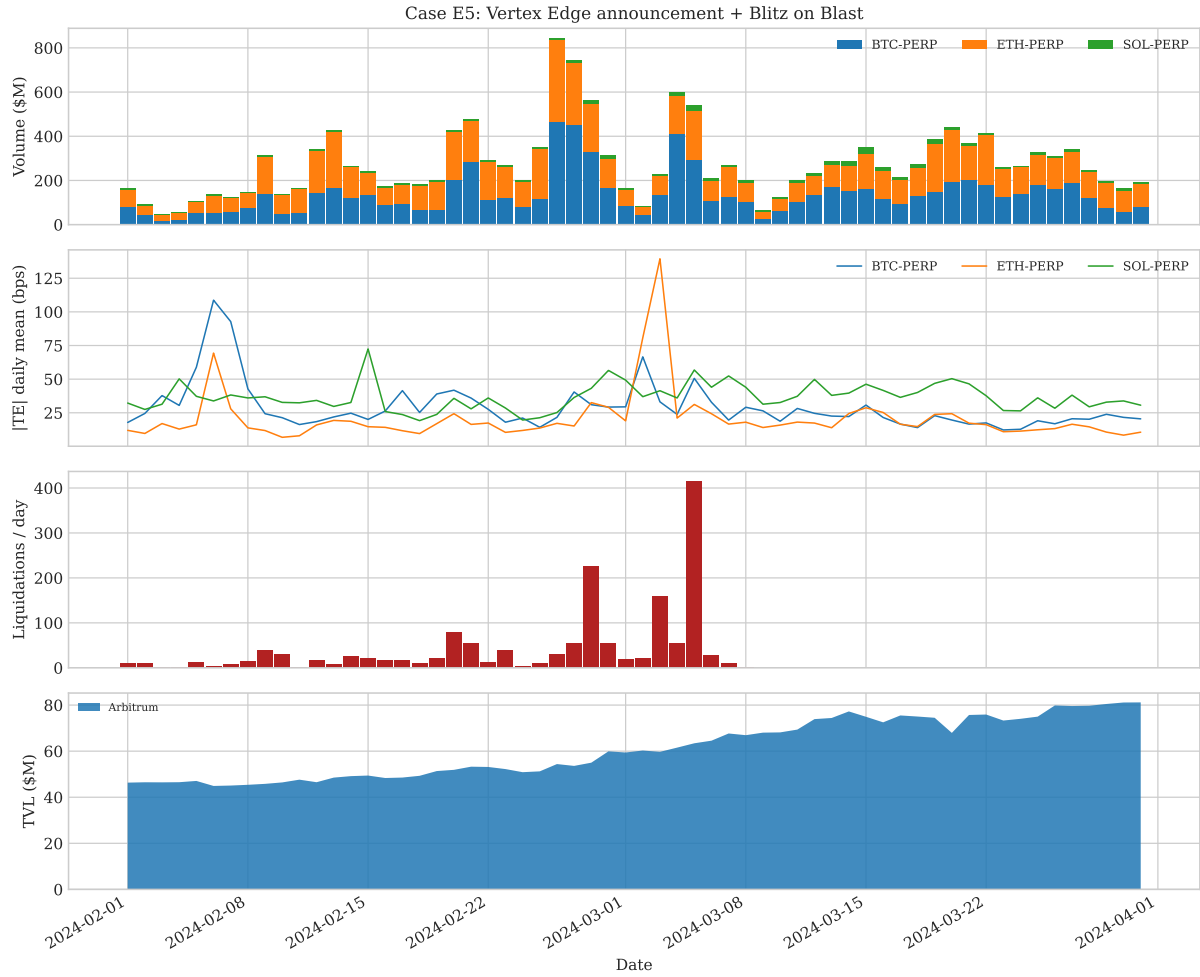


FIGURE 20 – Événement 5 — annonce de Vertex Edge + Blitz sur Blast.

- Moyenne et écart-type de la TE horaire dans chaque fenêtre.
- Test t de Welch à deux échantillons sur les moyennes de TE post-pré.
- Tendance OLS en fenêtre pré sur la TE horaire : le diagnostic d'absence de pré-tendance (tendances parallèles) qui conditionne l'attribution causale.
- Volume taker total dans chaque fenêtre (USD cumulés).
- IRF en fenêtre d'événement : séries de TE horaire et de volume $\hat{A} \pm 168h$ autour de l'événement ($\pm 24h$ pour l'événement de panne, plus court).

Il s'agit d'un plan avant/après à un seul groupe, et non d'une DiD à deux groupes : Vertex ne dispose d'aucune venue de contrôle non traitée pour un événement à l'échelle du protocole, de sorte que la « différence de différences » se réduit à un contraste pré/post, discipliné par le diagnostic de pré-tendance. Une cellule est lue comme un véritable effet d'événement uniquement si le décalage post-pré est significatif *et* si la fenêtre pré n'était pas déjà en tendance.

NE1 â€” bascule v1 -> v2 OffchainExchange (2024-03-08). La fin empirique des émissions `FillOrder` de v1 ; le proxy `OffchainExchange` de v2 est en émission parallèle depuis le 2024-01-24 (déploiement). L'horodatage du 2024-03-08 marque la discontinuité architecturale : les produits qui s'échangeaient sur v1 (*p. ex.* pid 2 BTC, pid 4 ETH) migrent entièrement vers le routage multiplexé de v2. La DiD compare les 30 jours de TE résiduelle de chevauchement aux 30 jours de TE en pur v2.

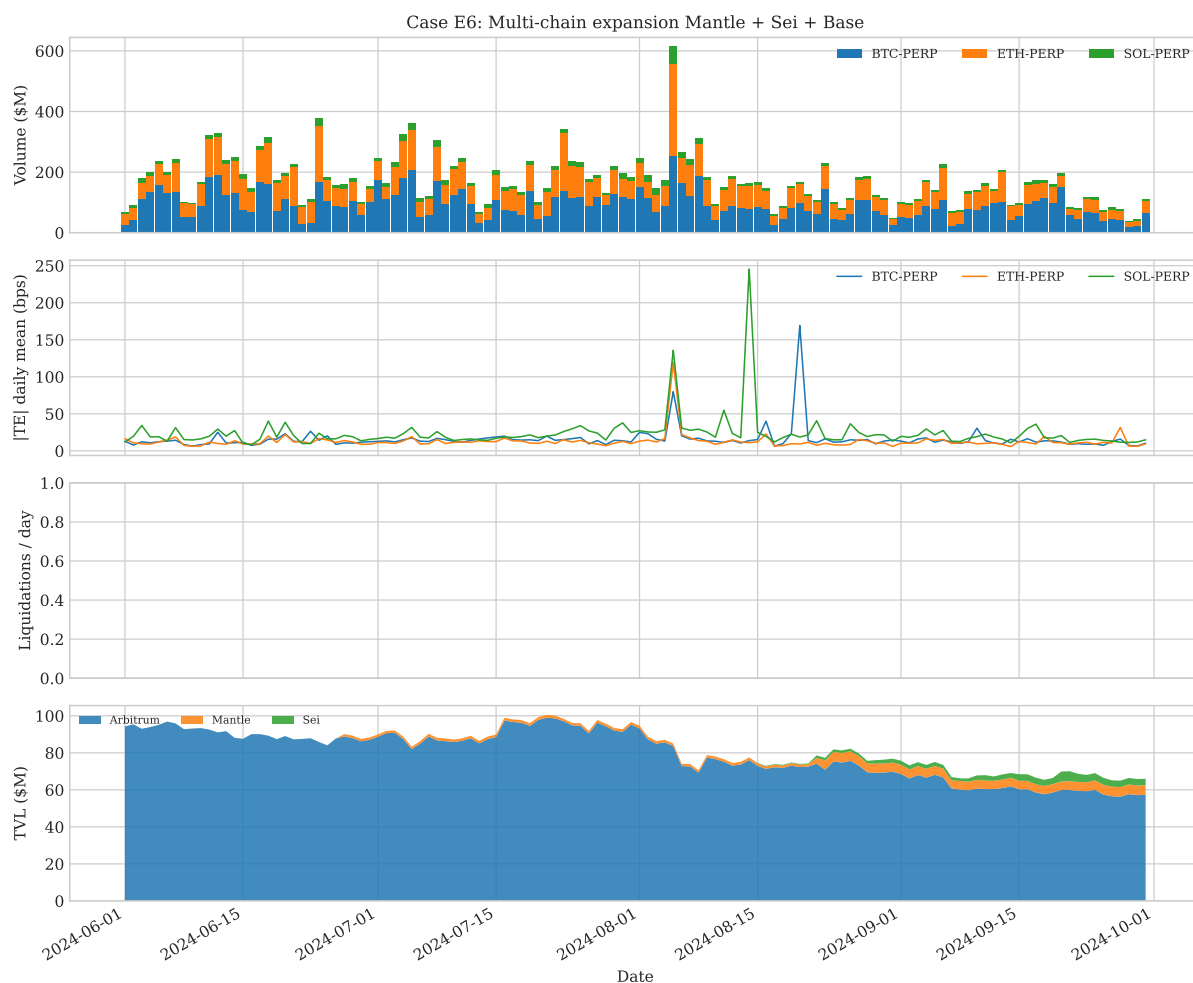


FIGURE 21 – Événement 6 — expansion multi-chaînes.

NE2 â€” panne du séquenceur Arbitrum (2023-06-07, 47 min). Défaillance documentée du remboursement de gas (gas-refunder) qui a bloqué le règlement on-chain pendant ~ 47 minutes (10 :40 -> 11 :27 UTC). L'appariement off-chain s'est poursuivi par conception de Vertex ; le règlement on-chain (dépôts, retraits, liquidations) a été suspendu. La DiD compare le comportement de la TE pendant la fenêtre de panne au référentiel $\hat{A} \pm 2h$, ainsi qu'à l'horizon pré/post de 14 jours.

NE3 â€” démarrage du STIP (2023-11-08). Les incitations du protocole via le programme STIP d'Arbitrum débutent le 2023-11-08 (cadence hebdomadaire, 212,5k ARB/semaine). La DiD capture la montée en volume induite par les incitations et toute perturbation de la TE. Hypothèse : le volume augmente fortement, la TE se comprime (arb plus compétitif).

Tableau de synthèse DiD. Le tableau 18 rapporte, par événement et par produit, les moyennes pré/post, la p -valeur du test t de Welch, la pente de tendance en fenêtre pré et sa p -valeur, le drapeau **significant**, et le pourcentage de variation du volume.

Significativité et la mise en garde sur les tendances parallèles. Sur les 8 cellules événement $\times$ produit, 1 a renvoyé un décalage de moyenne de Welch significatif à 5%, dont 1 a également satisfait l'exigence de pré-tendance plate ($p_{\text{trend}} > 0.05$) ; cette dernière définit le drapeau **significant** dans le tableau 18. Les cellules restantes sont confondues par une tendance préexistante ou non significatives, et ne sont pas lues comme des effets d'événement.

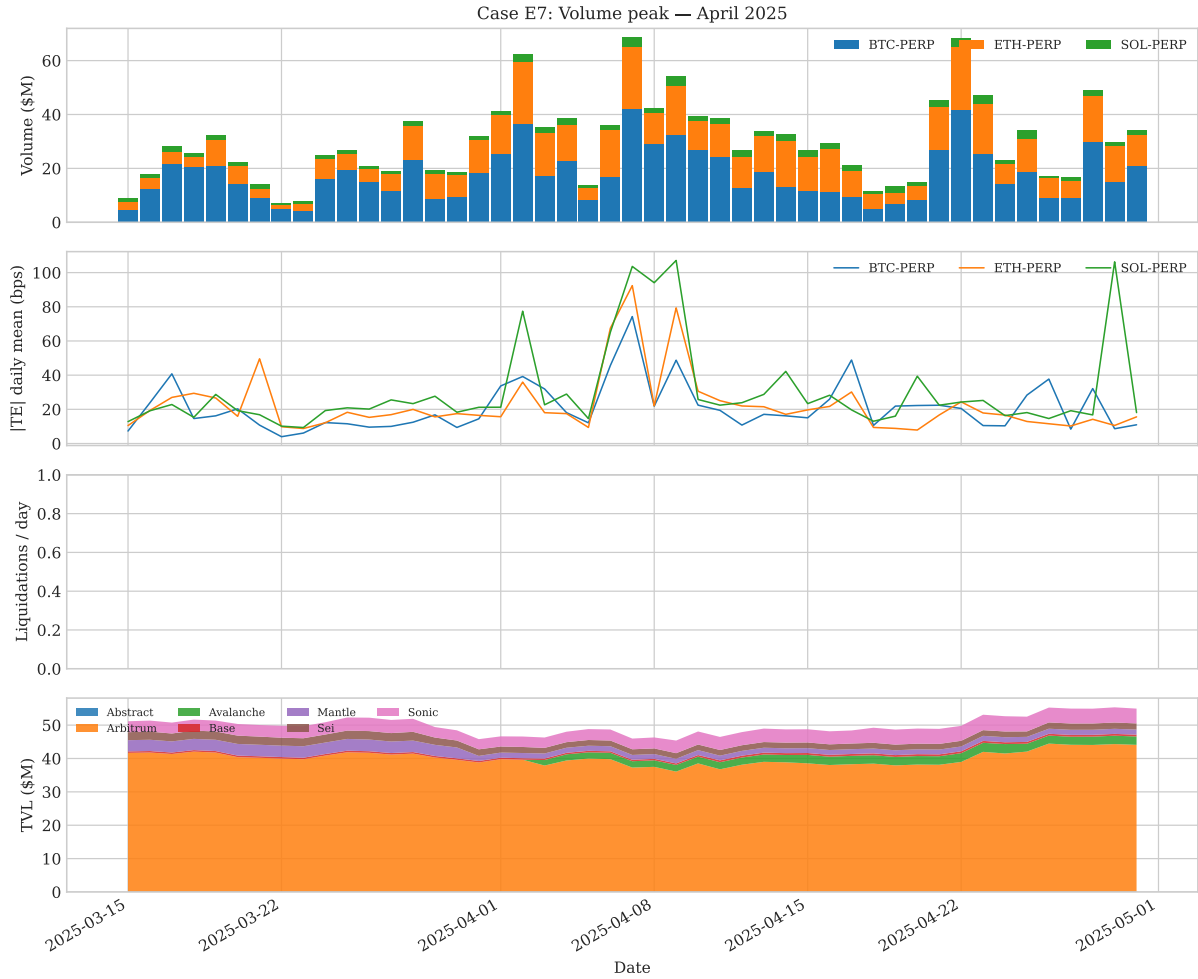


FIGURE 22 — Événement 7 — pic de volume d’avril 2025.

10 Résultats et questions ouvertes

10.1 Résultats confirmés

F1 — L’erreur de suivi sur Vertex est endogène à sa microstructure. La régression MCO HAC-robuste sur panel complet $TE_t = \beta_0 + \beta_1 \sigma_{USDC,t} + \beta_2 \log(1 + OI_t) + \beta_3 f_t + \beta_4 g_t + \varepsilon_t$ explique moins de 0,2 % de la variance de la TE pour BTC, ETH et SOL (§3), tandis que le modèle autorégressif Corsi-HAR sur $|TE|$ atteint $R^2 = 0.43\text{--}0.60$. Les quatre régresseurs exogènes candidats — volatilité du collatéral, intérêt ouvert, financement Binance, gas Arbitrum — ne pilotent pas conjointement la TE de Vertex.

F2 — L’extinction du protocole s’est déroulée de manière ordonnée. Sur toute la durée de vie du protocole (2023-03 à 2025-08), seuls \$86 de couverture du fonds d’assurance ont été déployés sur 8,086 liquidations pour \$59.2 M de notionnel total liquidé. L’extinction en quatre phases (E9 dans §8) s’est exécutée sans tirage sur le fonds d’assurance, suggérant qu’un perp DEX doté d’une distribution de levier suffisamment réduite et d’un pool de liquidateurs professionnels suffisamment concentré peut être réglé en 6 semaines sans événement de stress.

F3 — Le clustering de liquidations Hawkes est sous-critique mais proche du seuil. Un MLE Hawkes univarié à noyau exponentiel sur le catalogue complet de liquidations donne un ratio de branchement $\eta = 0.71$, c.-à-d. que chaque liquidation déclenche en espérance 0,71 liquidation

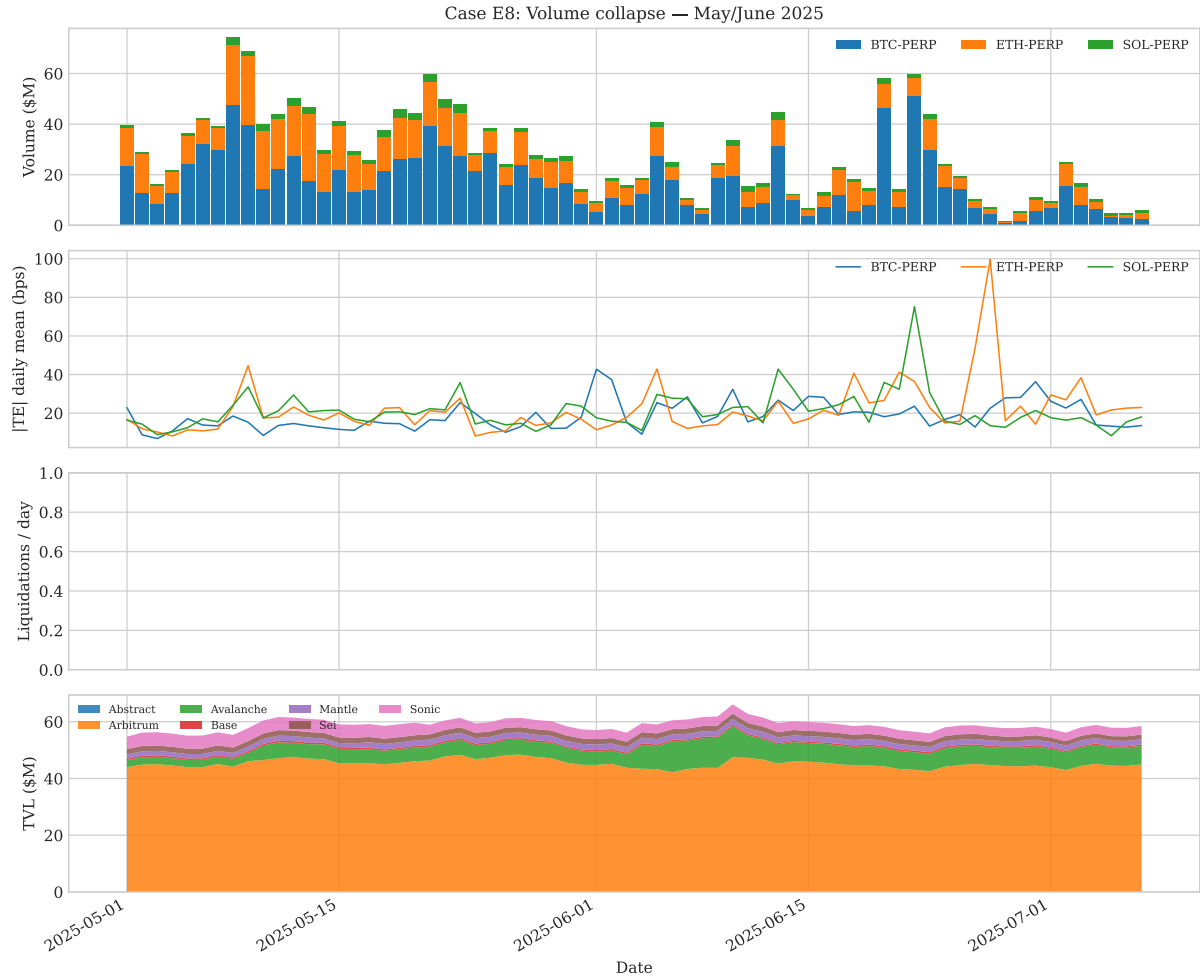


FIGURE 23 — Événement 8 — effondrement du volume mai-juin 2025.

enfant via le mécanisme d'auto-excitation. La sous-fenêtre de bascule $v1 \rightarrow v2$ ($n = 1,590$) donne $\eta = 0.70$ — non statistiquement différent de l'estimation sur fenêtre complète. Le processus est stationnaire mais l'écart à la valeur critique $\eta = 1$ est étroit.

F4 — La concentration des liquidateurs est extrême. Sur 1,747 sous-comptes liquidés distincts, seules 8 adresses de liquidateurs distinctes ont apuré l'intégralité du catalogue, le liquidateur principal étant à lui seul responsable de 44,6 % des événements et le top-5 couvrant 92,4 % (indice de Herfindahl 0,27). Le marché des keepers sur Vertex n'était pas distribué de manière concurrentielle.

F5 — La microstructure du séquenceur v1 présente une longue queue de latence. 356,531 lots de séquenceur du carnet v1 affichent une latence médiane de 12s mais un p99 de 1,021s ; ce ratio d' $\approx 85\times$ entre p50 et p99 est sensiblement pire que les itérations Vertex Edge / Blitz ultérieures et constitue une source plausible de stress de TE à l'ère v1.

F6 — La volatilité asymétrique domine. GJR-GARCH(1,1) remporte la course à l'AIC face au GARCH(1,1) simple et à l'EGARCH(1,1) pour les trois produits du top, indiquant une réponse asymétrique de la variance conditionnelle au signe des rendements passés — cohérent avec les dynamiques de levier des perp on-chain.

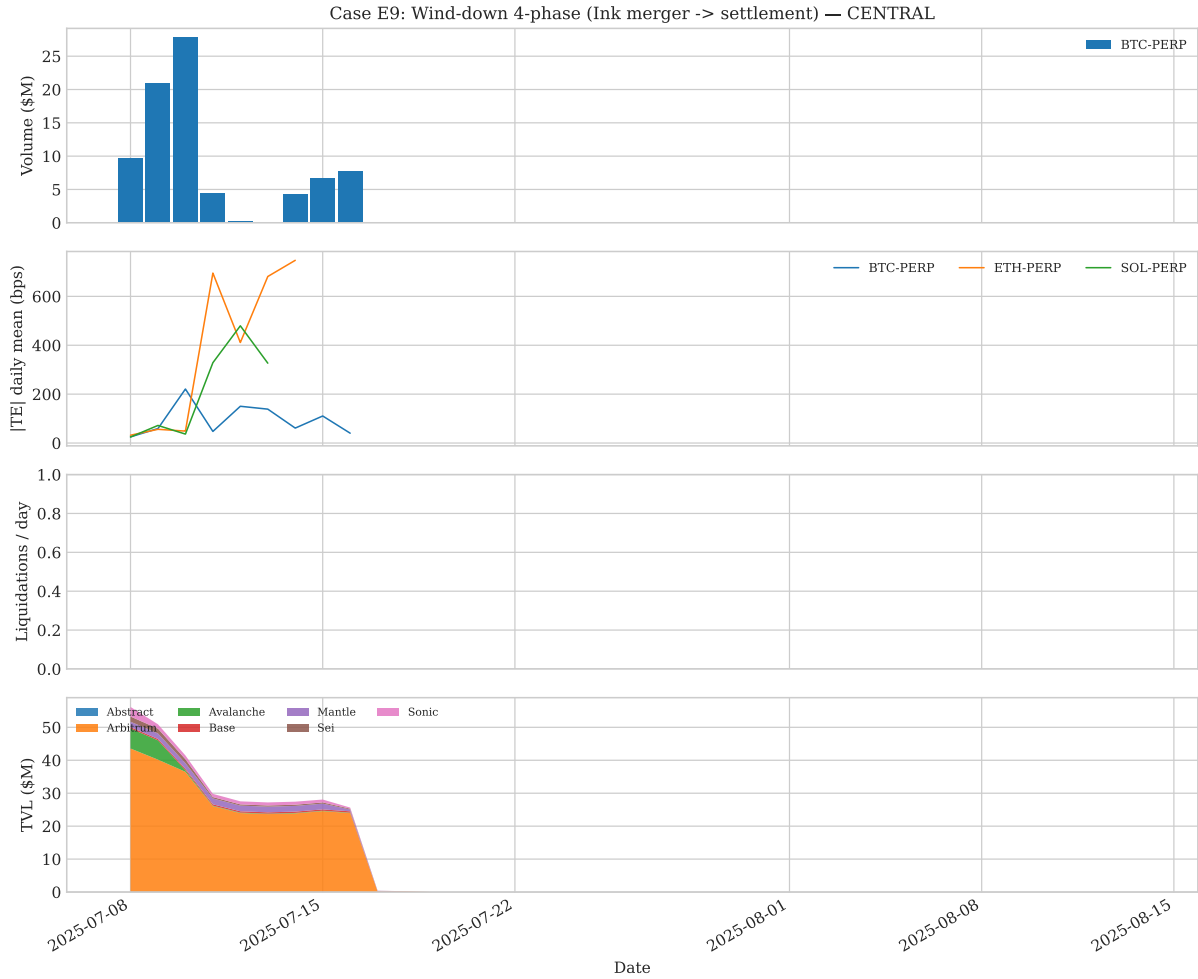


FIGURE 24 – Événement 9 (central) — séquence d’extinction en 4 phases 2025-07-08 au 2025-08-14.

10.2 Questions ouvertes

Q1 — Statut du produit ARB-PERP (RÉSOLU). L’ARB-PERP de Vertex Protocol n’a existé qu’à l’ère v1. Il a été listé en juin 2023 comme cinquième marché négociable du protocole sous le pid 41 sur le moteur v1 OffchainBook. Lors de la bascule v2 (2024-01-24, bloc 188,206,906), le pid 41 a été réaffecté au moteur v2 SPOT et l’ARB n’a jamais été re-listé en tant que perpétuel. Confirmation : parmi les candidats perp post-bascule dont le prix mark Vertex médian tombe dans la plage de prix de l’ARB (\$0.20–\$2.50), aucun ne produit la corrélation linéaire diagnostique > 0.99 avec un ratio médian ≈ 1.0000 que BTC (pid 2), ETH (pid 4) et SOL (pid 12) satisfont tous face à leurs oracles Chainlink respectifs. L’analyse approfondie porte donc sur le top-3 des perps (BTC, ETH, SOL). Les données ARB-PERP v1 sont contenues dans les lignes du moteur `v1_book` du pid 41 ; l’OI est indisponible pour cette ère (la v1 n’avait pas de construction `perp_engine.AddProduct`).

Q2 — Pourquoi le branchement Hawkes v1→v2 coïncide-t-il avec le branchement sur fenêtre complète ? Un a priori naïf voudrait que la bascule v1→v2 concentre les liquidations et gonfle ainsi l’auto-excitation. La coïncidence observée ($\eta = 0.70$ contre 0,71) suggère au contraire que la structure de cascade est une propriété structurelle de l’enchère de liquidation de Vertex, et non un transitoire dépendant du régime. Un Hawkes bivarié avec {liquidations sur A , liquidations sur B } pourrait démêler l’excitation croisée $\rightarrow$ propre de l’excitation croisée $\rightarrow$

TABLE 17 – Tier-2 chronological events.

date	label	me
2022-10-11	Mango Markets exploit (pre-history)	design
2022-11-08	FTX collapse (pre-history)	design
2023-01-31	Arbitrum sequencer outage (pre-Vertex public)	design
2023-03-23	ARB token airdrop	ARB spot listing ; Vertex never listed an ARB
2023-04-26	Vertex public retail launch	fee structure
2023-06-07	Arbitrum sequencer gas-refunder outage (47min)	on-chain settlement
2023-07-30	Curve Vyper hack	USDC-pool re-pricing
2023-11-08	STIP epoch 1 start (ARB rewards)	incentive-driven volume
2024-03-12	Blitz on Blast deploy	first cross-chain i
2024-06-27	Mantle Edge deployment	Arbitrum dilutio
2024-08-05	BoJ yen carry unwind (Aug 2024)	BTC -20%, mass liqui
2024-08-15	Sei Edge launch	second cross-chain depl
2024-09-17	Base Edge deployment	third cross
2024-11-29	Hyperliquid HYPE airdrop	competition pressu
2024-12-28	Base + Sonic TVL onset	fourth-fifth cross
2025-01-06	Sonic mainnet partner launch	Q1-25 depl
2025-02-06	V3 / VLP roadmap announcement	last positive product d
2025-04-03	Avalanche Edge deployment	sixth cross

TABLE 18 – Difference-in-differences pre/post tests on $|TE|$.

event	symbol	n_pre	n_post	mean_te_pre_bps	mean_te_post_bps	std_te_pre_bps	std_te_post_bps
NE1	BTC	721	720	13.767	8.149	97.505	
NE1	ETH	721	720	4.842	5.168	81.713	
NE1	SOL	721	719	21.182	16.116	63.596	
NE2	BTC	329	329	4.727	1.289	34.742	
NE2	ETH	326	327	0.3773	-4.634	59.619	
NE3	BTC	714	717	-1.355	4.835	108.18	
NE3	ETH	720	718	-1.005	1.512	97.764	
NE3	SOL	691	718	2.191	13.296	103.81	

croisée.

Q3 — Instabilité numérique de la causalité de Granger (résolu). Le premier run Granger de la Phase 7 a échoué pour les trois produits, `statsmodels` rapportant « Maximum allowable lag is -1 » malgré des panels de 7–19k observations. Cause racine identifiée comme un glissement de dtype `polars`→`pandas` ; corrigé. Le nouveau run se termine proprement et la batterie porte désormais une q -value de FDR Benjamini-Hochberg sur ses 30 tests (§7). Une vérification croisée contre une implémentation alternative (`linearmodels` ou un test F de régression retardée codé à la main) constitue un raffinement supplémentaire possible.

Q4 — Attribution des pannes de séquenceur (résolu). L'étape émet désormais `p5_sequencer_outage.csv` (5 lignes panne×produit). La panne de janvier 2023 précède le premier fill on-chain et n'a pas de référence de base ; les pannes de juin 2023 et décembre 2023 présentent chacune la signature diagnostique — un effondrement quasi total du décompte de marks on-chain pendant la fenêtre (4 et 0 marks BTC) face à la référence de base ± 2 h (20, 40). Ce n'est pas le *niveau* d'écart en fenêtre qui constitue le signal ; c'est l'effondrement du débit de règlement.

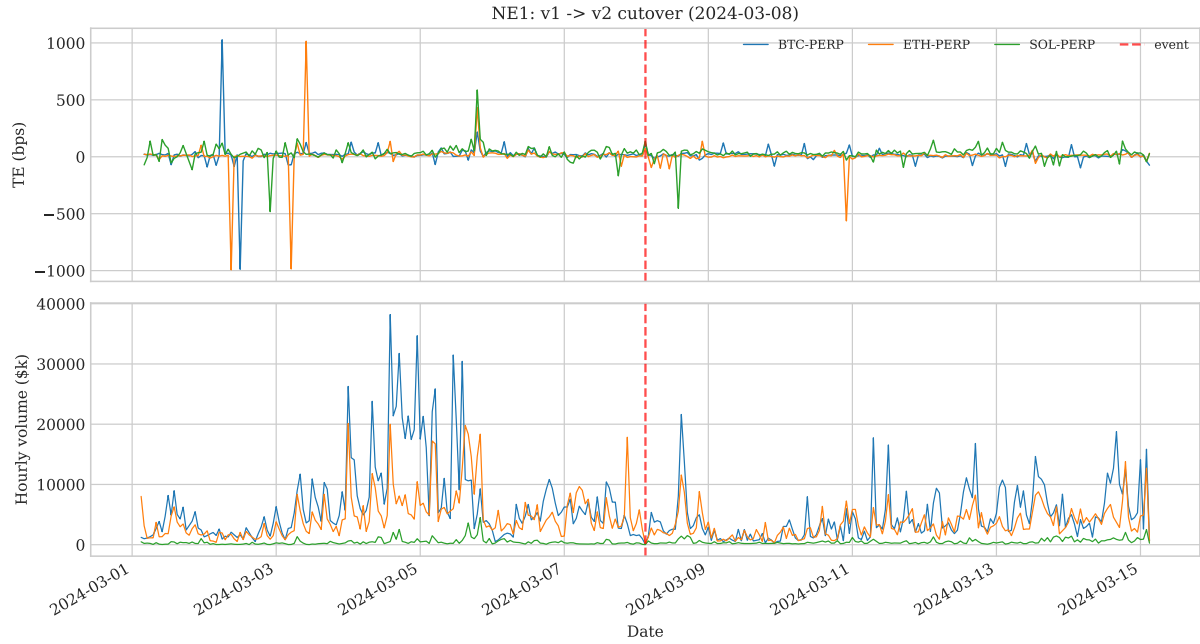


FIGURE 25 – Fenêtre d’événement NE1 : TE horaire par produit (en haut) et volume horaire (en bas) $\hat{\pm}168h$ autour de la bascule $v1 \rightarrow v2$.

Une vérification croisée contre le registre officiel d’incidents d’Offchain Labs reste un raffinement possible.

Q5 — Réactivité du mécanisme de financement (résolu). Un run antérieur rapportait `reactivity = 0.00` pour BTC/ETH/SOL. La cause était un bug du loader : `binance_perp_funding` lisait toute la partition `cex.<sym>.binance-um.v1` (klines perp et lignes de financement mélangées) sans filtrer sur `source`, faisant s’effondrer la régression. Avec le filtre `source = binance_um_funding`, la réactivité est non triviale mais de signe mixte selon les produits (BTC -269 , ETH $+2313$, SOL $+528$ bps par unité de financement) ; le signe mixte est cohérent avec le proxy — le financement 8h d’une venue *différente* — qui ne pilote pas proprement la propre base horaire de Vertex, comme le signalent les réserves de cadence/venue dans §5.

10.3 Réserves méthodologiques

- L’interpolation bloc-vers-horodatage utilise une table de blocs Arbitrum clairsemée (pas de 1000) et une interpolation linéaire. Selon la calibration dans `docs/data/recipes/`, l’erreur médiane est de $\pm 1-2s$ et l’erreur p95 de $\pm 5-10s$, confortablement en dessous du grain d’analyse à la minute.
- La reconstruction de l’OI via `eth_call` échantillonne l’état du perp_engine de Vertex à un bloc par heure UTC (21,456 heures au total). La cadence horaire crénèle tout mouvement d’OI intra-horaire ; cela est visible dans les figures d’historique d’OI (§6) sous forme d’artefacts en fonction-escalier les jours d’actualité.
- Les événements de mise à jour de l’oracle Chainlink Arbitrum (`AnswerUpdated`) ne se déclenchent que lorsque la déviation seuil est dépassée ; la série d’indice utilisée dans la TE est interpolée par report en avant entre les mises à jour, introduisant un léger biais sur les références de collatéral à évolution lente (USDC, BTC en période de faible volatilité).
- La transition $v1 \rightarrow v2$ utilise deux moteurs distincts (carnets d’ordres par produit `v1_book` contre le perp_engine monolithique `v2`). Les comparaisons de TE inter-ères sont donc sujettes à un mélange de régimes de microstructure ; les résultats de ce rapport considèrent

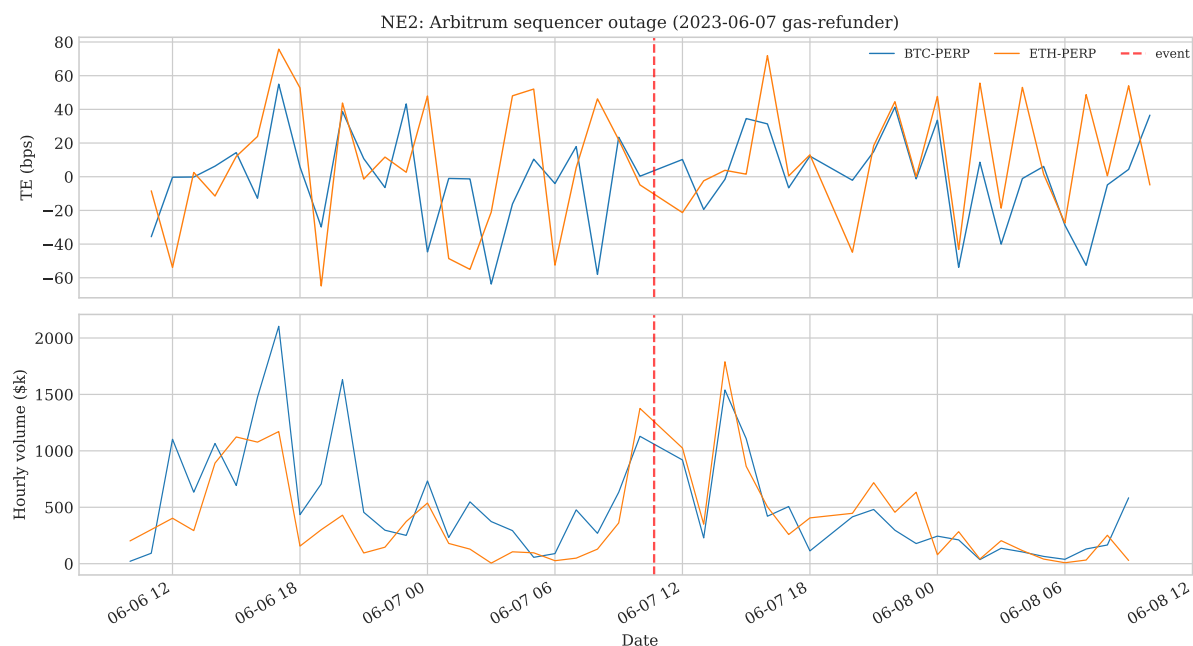


FIGURE 26 – Fenêtre d’événement NE2 : TE horaire par produit (en haut) et volume horaire (en bas) ± 24 h autour de la panne du séquenceur de juin 2023.

les deux ères séparément partout où c’est faisable.

Références

- BACRY, Emmanuel, Iacopo MASTROMATTEO et Jean-François MUZY (2015). « Hawkes processes in finance ». In : *Market Microstructure and Liquidity* 1.1, p. 1550005.
- BARNDORFF-NIELSEN, Ole E. et al. (2008). « Designing realized kernels to measure the ex post variation of equity prices in the presence of noise ». In : *Econometrica* 76.6, p. 1481-1536.
- HAWKES, Alan G. (1971). « Spectra of some self-exciting and mutually exciting point processes ». In : *Biometrika* 58.1, p. 83-90.
- ZHANG, Lan, Per A. MYKLAND et Yacine AÏT-SAHALIA (2005). « A tale of two time scales : determining integrated volatility with noisy high-frequency data ». In : *Journal of the American Statistical Association* 100.472, p. 1394-1411.

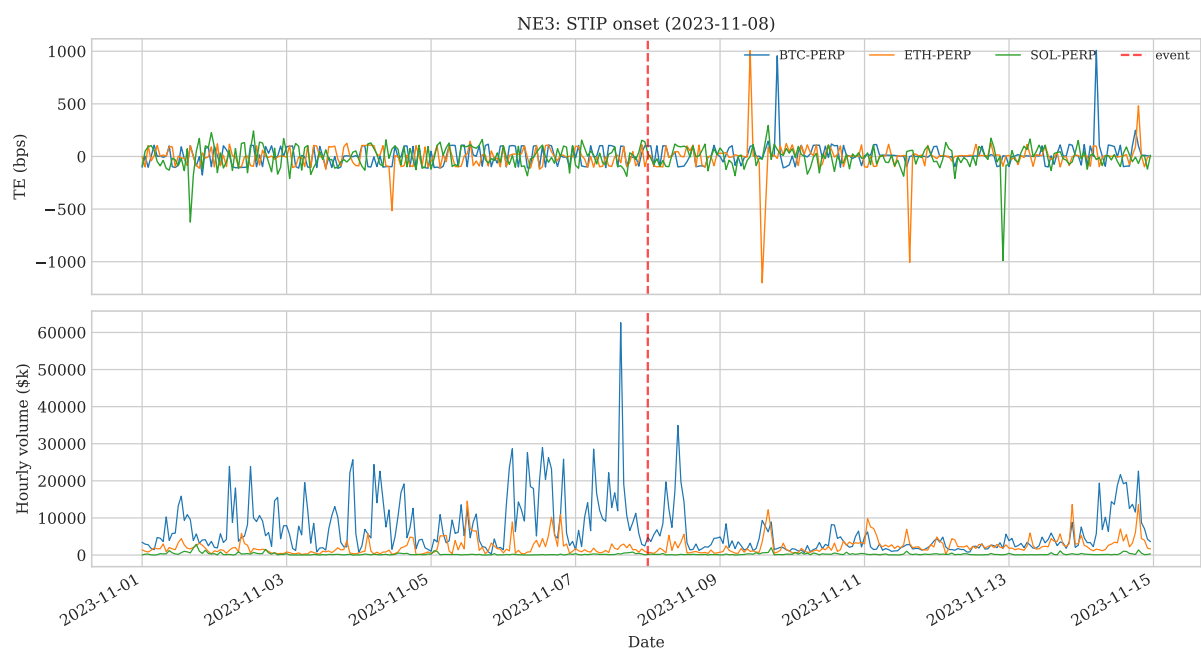


FIGURE 27 – Fenêtre d'événement NE3 : TE horaire par produit (en haut) et volume horaire (en bas) $\hat{\pm}168h$ autour du démarrage du STIP.