

RESEARCH MONOGRAPH / EDITION 2.0

HELIOS Ω

Intelligence as Productive Capital

From learned decisions
to compounding infrastructure

Forecast-dispatch Alpha / Signed succession
Comparative evidence / Capital attribution



8,320
synthetic day cases

12 / 12
positive G2 refits

A0
no external dispatch

Executed software. Synthetic operating and financial evidence.
No realized savings or independent superintelligence qualification.

Abstract

A useful mission-specific intelligence should produce an advantage over a serious alternative, retain the evidence needed to revisit that advantage, and distinguish operating improvement from capital accumulation. HELIOS Ω studies this sequence in an executed, entirely synthetic energy–compute experiment. An unchanged SUCCESSOR Ω 16.1.0 R6 product preserves two signed native mission generations; a separately authored customer extension learns electricity prices and couples the frozen forecaster to a common 145-variable linear dispatcher. The dispatcher respects grid, storage, workload-release and deadline constraints. No external action is enabled.

Twelve paired trials each train two generations on new 96-day cohorts, select models on 32 development days, and evaluate on 192 fresh days. Seven generic alternatives compete with four simulator-informed structured ridge candidates per round, yielding 264 fits. Generation 1 wins 11 of 12 comparisons but its mean competitive-Alpha interval crosses zero. Generation 2 wins all twelve, with mean modeled annual Alpha of CA\$10,970,293 and an across-refit 95% interval of [CA\$9,959,745, CA\$11,980,840] at the assumed 64-campus scale. A supplementary 512-day challenge of the predesignated frozen G2 composition yields CA\$11,199,341, with a conditional paired-day interval of [CA\$9,895,126, CA\$12,597,263], exceeding its locally predeclared CA\$2,000,000 margin. All 23,296 primary and final plans satisfy the checked numerical conditions.

A separate forty-year, undiscounted capital scenario retains an equal-asset Beta counterfactual. It produces CA\$758,428,115 in additional distributions and one additional operating campus, revealing construction throughput as a binding limitation rather than crediting the entire enterprise to the model. A fresh publication replay reproduces all 48 selected model exports, primary case costs and the complete final result. The contribution is a reproducible systems example connecting learned decisions, explicit constraints, evidence retention and disciplined attribution. Simulator-informed priors, author-controlled custody, exact future covariates and stylized economics preclude claims of real-market savings, independently qualified Specialist ASI or production readiness.

Keywords: predict–then–optimize; energy–compute scheduling; comparative Alpha; mission intelligence; signed succession; linear programming; capital attribution; reproducibility.

The reading contract

Executed denotes computations actually performed. **Modeled** denotes consequences of declared synthetic assumptions. **Proposed** denotes an unexecuted future requirement. All monetary values are Canadian dollars unless stated otherwise. A0 means inspect, evaluate, record and propose—not actuate equipment or place a trade.

HELIOS-TR-02, edition 2.0. AI-assisted technical report prepared from HELIOS-LAB 1.0.0. No independent peer review, vendor-independent assessment or external qualification is claimed. Source preservation and authorship disclosures appear in Appendix I.

Decision brief

FOR OWNERS, TECHNICAL LEADERS AND ASSURANCE COMMITTEES

The institution owns the mission, not a presumption of superiority. The expert retains a tested input contract, alternatives, frozen parameters, schedule witnesses and replacement history. The selected predictor remains replaceable; its forecast only becomes a proposal after explicit numerical verification.

Decision-relevant result	Modeled value or count
G2 positive competitive outcomes across refits	12 / 12
Mean G2 annual Alpha across refits	CA\$10,970,293
Final fixed-model annual Alpha	CA\$11,199,341
Final Alpha as a share of Beta annual cost	0.735%
Final conditional lower endpoint	CA\$9,895,126
Forty-year additional owner distributions	CA\$758,428,115
Forty-year additional operating capacity	1 campus / 50 MW

Why the comparison matters. Final Alpha is measured against the cheaper of legacy and the development-selected Beta, not against doing nothing. It already subtracts CA\$2,000,000 of additional annual policy overhead. Improvement over legacy, improvement over the ancestor and competitive Alpha are alternative contrasts; they must not be added.

Why the physical account matters. Both capital routes start with CA\$22,400,000,000 of assumed productive assets. Beta reaches 307 campuses; HELIOS reaches 308. Most enterprise growth belongs to the common business assumptions, not to the intelligence advantage. The excess cash cannot instantly become plant because construction orders are capped at eight campuses per year and commissioning takes two years.

What is genuinely trained. The energy specialist is a customer-built 43-feature ridge forecaster with 44 fitted coefficients including its intercept. The product’s native six-signal triage networks are also trained, but they do not generate the energy savings. The 145-variable optimizer is a solver, not a newly trained neural system.

The accountable decision

Retain G2 as a **locally qualified synthetic research composition**. Preserve G1’s failed cross-cohort promotion. Commission a separately supervised, authorized real-data shadow trial before making any real-market or consequential-authority claim.

What this edition adds. A decision-regret argument and frozen-challenge audit; an evidence atlas; twenty erosion–capacity scenarios; explicit cash-flow timing diagnostics; and a fresh source-to-result replay. All additions are labeled secondary, not new confirmatory trials. The original capsule, selected models and commercial product are unchanged.

Evidence atlas

ONE COMPOSITION. DIFFERENT STANDARDS OF EVIDENCE.

The result to retain

HELIOS is an executed, locally qualified synthetic forecast-dispatch specialist. Its trained model, optimization problem, decision witnesses and capital assumptions are separately inspectable. A numerical result is not turned into a stronger institutional claim by signing it.

Layer	What is established	Boundary to preserve
Learning	264 primary candidate fits; two separately trained native mission generations	Structured prior informed by the known simulator; no universal dominance
Decision	23,296 primary/final plans checked; defined hindsight reference	Optimality for the modeled forecast problem, not for a physical facility
Comparison	12/12 positive G2 refits; frozen final lower endpoint above the local margin	Finite development-selected comparator set; author-controlled evidence
Continuity	Exact signed ancestry, reopenable artifacts and replayable operating modules	No independently authenticated ownership or inherited authority
Capital	Equal-asset Beta counterfactual; complete annual cash transitions	Hypothetical service economics, persistence and construction capacity
Authority	Local A0 proposals; no external dispatch connector	Independent real-data acceptance and accountable intervention remain future steps

Edition 2 adds interpretation, not a revised victory. The original models, challenge data, costs and simulation ZIP remain unchanged. New material includes a forecast-to-decision regret argument, a retrospective audit of the frozen challenge, a 20-case erosion/capacity grid and an explicitly partial discounted-cash diagnostic. These are publication-only secondary analyses; they are not additional confirmatory trials.

Reading efficiently. For a decision, read the brief, Sections 9, 11 and 12. For the operating system, read Sections 2–7. For assurance, use Appendix H and the machine-readable acceptance report.

Distribution. The public publication bundle contains the paper, figures, source and derived analysis. The complete private research bundle additionally contains licensed commercial software. Public sharing of a manuscript does not grant software redistribution rights.

Contents

Abstract	i
Decision brief	ii
Evidence atlas	iii
1 An operating advantage is not yet an institution	1
2 A mission composition with separate obligations	2
3 Mission, information and physical contract	3
4 Data, fitting and selection	4
5 The forecast–dispatch optimization problem	5
6 From price error to decision regret	6
7 Numerical evidence and admission semantics	7
8 Estimands, uncertainty and the final protocol	8
9 Results: a useful specialist with visible failures	9
10 A schedule witness and engineered refusal	11
11 From operating Alpha to a capital ledger	12
12 What survives erosion, overhead and delivery limits?	13
13 Succession, evidence and the next productive mission	16
14 Threats to validity and a real-data acceptance contract	16
15 Conclusion	17
A The exact synthetic price generator	18
B Feature map and complete fitting specification	19
C All paired cohort outcomes	20
D Schedule certificates and complete witness	20
E The exact capital transition and sensitivity	22
F A bounded physical resource horizon	24
G Reproduction and publication verification	24
H Claim-to-evidence index and exact identities	26
I Provenance, authorship and distribution	27
J Edition 2 secondary calculations	28
References	30

Read by purpose

Decision makers: the decision brief, Sections 9, 11–12 and the conclusion.

Technical readers: Sections 3–7 and Appendices A–E.

Assurance reviewers: Sections 13–14, the reproduction appendix and the evidence index.

1 An operating advantage is not yet an institution

A predictor becomes economically interesting when its errors change decisions. A decision process becomes institutionally useful when its objectives, evidence, alternatives, failure conditions and permission boundaries remain inspectable after the predictor is replaced. HELIOS Ω examines both propositions in a bounded supplier-independent energy–compute setting. Its empirical source is the delivered HELIOS-LAB 1.0.0 capsule, not a customer testimonial or live facility record [1].

The fictional Helios Infrastructure Cooperative operates an assumed 64-campus portfolio. The technical customer trains an electricity-price specialist, inserts its forecasts into an identical constrained dispatcher used by competing learned policies, and evaluates the resulting schedules at synthetic settlement prices. It then asks a separate question: if a measured-in-simulation operating advantage persisted, how much incremental cash and capacity would a specified reinvestment rule produce relative to the same enterprise using Beta?

1.1 Three research questions

The operational question is whether a frozen specialist reduces cost relative to a serious development-selected alternative after additional overhead. The continuity question is whether evidence, exact model identity and mission lineage survive replacement without inheriting proof or authority. The attribution question is how much of a paired capital scenario belongs to the operating advantage rather than the enterprise’s pre-existing assets and shared assumptions.

The study answers these questions locally: G2 repeatedly wins within the simulator; the native mission objects preserve signed lineage; and the paired capital model exposes incremental, not total, enterprise outcomes. These are deliberately different results. The study does not isolate a causal monetary return to the institutional wrapper, and it does not establish that the known simulator resembles an actual electricity market closely enough to justify deployment.

1.2 Contribution and relation to prior work

Renewable-colocated data-centre scheduling already joins workload timing, renewable use and energy procurement; Li, Tong and Mount evaluate such a system with real-world traces [2]. HELIOS uses a much smaller authored simulator and reproduces none of that paper’s empirical savings. Its prediction-and-optimization decomposition is related to the predict–then–optimize literature [3], but it does not train with SPO or differentiate through the solver. Ridge fitting minimizes squared price error; model selection subsequently minimizes realized development dispatch cost.

Standard optimization and documentation mechanisms do much of the work: HiGHS supplies linear optimization, scikit-learn supplies fitted regressions and tree ensembles, and model documentation supplies context for interpretation [4, 5, 6]. The contribution is their inspectable composition with repeated cohort evaluation, signed mission succession and a counterfactual capital ledger. No new foundational learning algorithm or unprecedented cryptographic primitive is claimed.

2 A mission composition with separate obligations

For generation g , write the evaluated operating composition as

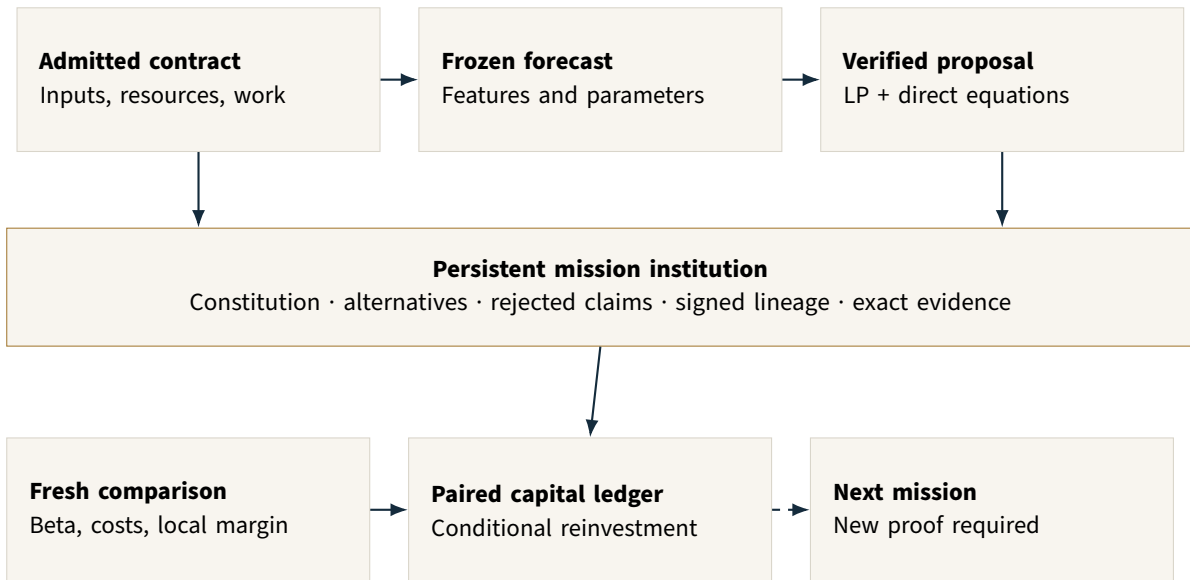
$$C_g = (X, \phi_g, \theta_g, \mathcal{F}, \mathcal{V}, \mathcal{K}, \mathcal{A}), \quad (1)$$

where X is the input contract, ϕ_g the feature map, θ_g fitted parameters, $\mathcal{F}$ the feasible scheduling set, $\mathcal{V}$ the checker, $\mathcal{K}$ the cost ledger and $\mathcal{A}$ the A0 effect boundary. A broader retained institution is

$$I_g = (m_g, D_g, \{C_{g,j}\}_j, E_g, \ell_g, a_g), \quad (2)$$

with mission m_g , admitted data D_g , competing compositions, evidence E_g , ancestor reference ℓ_g and permission state a_g . These definitions describe local artifacts, not a legally constituted autonomous organization.

01 / OPERATING COMPOSITION — EXECUTED



02 / CAPITAL IS MODELED. THE NEXT MISSION IS PROPOSED. A0 NEVER IMPLIES ACTUATION.

Figure 1. The retained institution and its replaceable operating composition. Numerical qualification, local evidence retention and future accountable admission are separate obligations. The dashed link denotes a proposed next mission, not autonomous capital expenditure.

The commercial product and the extension have different roles. SUCCESSOR Ω 16.1.0 creates two 400-row native triage missions, runs three candidates per generation for a total of 54,000 repeated updates, signs the saved objects and binds G2 to its exact predecessor envelope. The customer extension trains the ten-input price forecaster. The LP schedules energy and workload; a separately coded checker tests the equations. Only the forecast–dispatch composition is assigned the measured synthetic energy advantage. [E01, E08]

Control is not unrestricted platform ownership. The underlying platform retains its original licence. Mission records, research additions and exported parameters are retained under their applicable rights. No licence is changed by the paper. A self-issued owner label is not externally authenticated legal title.

3 Mission, information and physical contract

Table 1. Assumed per-campus contract. Every value is a simulation input, not a measured asset specification.

Quantity	Value	Quantity	Value
Flexible compute ceiling	50 MW	Daily flexible work	600 MWh
Base load	15 MW	Solar nameplate	40 MW
Grid-import ceiling	70 MW	Battery energy	80 MWh
Battery charge/discharge limit	20 MW	Each-way efficiency	95%
Initial and terminal storage	40 MWh	Time step	1 hour
Charge-throughput cost	CA\$2/MWh	Discharge-throughput cost	CA\$8/MWh

The workload must respect release bounds and intermediate cumulative deadlines. Flexible compute is an energy proxy: 600 MWh per day is not a measured number of jobs, FLOPs or scientific discoveries. The initial 64-campus portfolio's 3.2 GW is installed flexible-load capacity, not continuous utilization. Inflexible base load contributes another 360 MWh per campus-day before storage losses.

3.1 What is known before planning

Every learned planner receives the same ten synthetic covariates: four hourly Fourier terms, normalized temperature, wind, fuel, demand, outage and region. These next-day covariates, the solar profile and the workload contract are assumed known exactly. Only settlement prices contain innovations hidden from the forecast. This unusually favorable information structure is a modeling assumption; it is not a validated forecasting pipeline for future weather, renewable production or demand.

Generation 2 changes the conditional price function, including signs and scarcity coefficients. It does *not* change the marginal covariate generator or workload contract. The native triage example is a separate six-signal dataset. The physical simulation contains no power-flow network, thermal coupling, unit commitment, battery aging state, hardware outage, queueing latency, bidding rule or uncertain-solar recourse. [E02]

3.2 What a label can cause

The delivered operating route writes a local schedule proposal. It has no equipment, trading, payment or enterprise-write connector. A0 is therefore a concrete local effect boundary, not permission to execute a reversible physical experiment. A downstream actor would need a separately authorized integration and enforcement mechanism before any schedule could affect a facility.

4 Data, fitting and selection

4.1 A repeated pipeline, not repeated scoring of one fit

Each of twelve trials creates two generations. A generation receives 96 training days, 32 development days and 192 post-freeze challenge days. Each day has 24 hourly rows, so a fitting cohort has 2,304 price observations but only 96 independent synthetic day draws. Day-specific covariates and a shared daily innovation create within-day dependence.

Table 2. Data and execution allocation. Native triage rows and repeated solver calls are not additional energy-day cases.

Component	Day cases	Hourly rows	Role
24 training cohorts	2,304	55,296	Fit candidate parameters
24 development cohorts	768	18,432	Select within each family
24 primary challenges	4,608	110,592	Compare frozen policies
Supplementary G2 challenge	512	12,288	Fixed composition / margin
Four engineering stress suites	128	3,072	Constraint conformance
Total	8,320	199,680	Distinct authored cases

Seeds follow a documented formula; case identifiers are disjoint. Source and model digests are recorded before challenge generation. Three earlier engineering pilots on seeds 90 and 91 are preserved. The feature map and the scarcity generator were refined together before the primary campaign. This disclosure matters: common inputs do not imply equal structural prior knowledge. Local protocols are not independent timestamps or blinded evidence custody. [E01–E03]

4.2 Candidate families

Seven Beta candidates comprise standardized raw-feature ridge, two degree-two polynomial ridges, three histogram gradient boosters and one extra-trees regressor. Four structured ridge candidates use the disclosed scarcity/interaction map and regularization values $\{.01, .1, 1, 10\}$. Thus 24 rounds fit $24 \times 11 = 264$ candidates. The selected models are not refitted on development rows.

The specialist transforms ten covariates into 43 features, standardizes them using training statistics, and fits

$$(\hat{\beta}_0, \hat{\beta}) = \arg \min_{b_0, b} \sum_{i \in D_{\text{train}}} (p_i - b_0 - z_i^\top b)^2 + \lambda \|b\|_2^2. \quad (3)$$

It therefore has 44 fitted regression parameters, plus normalization and feature-map metadata. Predictions are clipped to [5,600] CAD/MWh. The chosen regularization and all comparator hyperparameters are specified in Appendix B. Ridge is an established regularized least-squares method, not an autonomous scientific-discovery mechanism [5].

4.3 Select on the decision, retain the prediction diagnostic

For each family, the selection rule minimizes mean *settled development schedule cost*. Forecast RMSE is retained but is not the selection metric. This recognizes that two similarly accurate forecasts can produce materially different decisions. Fitting still uses squared error: selecting on downstream cost does not make the training procedure end-to-end decision-focused learning [3].

Finite development sets create model-selection uncertainty even when challenge rows are withheld [7]. Repeated fitting addresses part of that variation, not all possible models or markets. “Beta” means the development-selected alternative from the declared finite grid. It does not mean the best external specialist or the hindsight-best candidate on the challenge.

5 The forecast-dispatch optimization problem

For hours $h = 0, \dots, 23$, let g_h be grid import, w_h flexible work power, c_h charge, d_h discharge, u_h solar curtailment and b_h stored energy at hourly boundaries. With available solar s_h , forecast price $\hat{p}_h$ and one-hour time steps, solve

$$\min_{g,w,c,d,b,u} \sum_{h=0}^{23} (\hat{p}_h g_h + 2c_h + 8d_h), \quad (4)$$

$$g_h + s_h - u_h + d_h = 15 + w_h + c_h, \quad (5)$$

$$b_{h+1} = b_h + .95c_h - d_h/.95, \quad (6)$$

$$\sum_{h=0}^{23} w_h = 600. \quad (7)$$

Bounds enforce $0 \leq g_h \leq 70$, $0 \leq w_h \leq 50$, $0 \leq c_h, d_h \leq 20$, $0 \leq b_h \leq 80$, $0 \leq u_h \leq s_h$ and $b_0 = b_{24} = 40$.

Work due by hours 6, 12 and 18 is respectively 120, 260 and 420 MWh. For every $t = 1, \dots, 23$, releases impose

$$\sum_{h=0}^{t-1} w_h \leq \min\{600, 600(.2 + t/30)\}. \quad (8)$$

The LP has 145 variables, 49 equalities and 26 additional inequalities, plus variable bounds. HiGHS is called through SciPy’s `linprog` with `presolve` enabled [4, 8]. The incumbent uses the same resource model but fixes $w_h = 25$ MW and supplies an untrained sinusoidal tariff estimate. Its feasible decision set is narrower than the learned planners’. A legacy improvement therefore combines flexibility and forecasting effects; the Beta comparison is the relevant like-for-like learned-policy comparison.

5.1 Settlement is not the forecast objective

After planning, the evaluator computes

$$\ell_j(\pi) = \sum_h (p_{j,h} g_{j,h}^\pi + 2c_{j,h}^\pi + 8d_{j,h}^\pi) \quad (9)$$

using synthetic settlement prices p . The planner never consumes those prices in its operating input path. A perfect-information policy solves the same problem using p in place of $\hat{p}$, providing a lower-cost informational reference. It is not deployable and is not part of the competitive Beta set.

5.2 Battery complementarity is checked, not encoded

The continuous LP does not contain the nonconvex restriction $c_h d_h = 0$. The implementation instead checks $\max_h \min(c_h, d_h) \leq 10^{-6}$ on every returned schedule and rejects a violation. All reported primary/final schedules satisfy that condition. This is a result for the specified positive-price, free-curtailment experiment, not a universal guarantee for negative prices or altered constraints. Non-simultaneous operation is a substantive formulation issue in storage optimization [9].

6 From price error to decision regret

A numerical optimality certificate concerns the forecast objective. The economically relevant question is how costly the forecast-induced decision becomes when settled at the actual price. This distinction is central to predict-then-optimize methods [3]; the following elementary specialization makes it inspectable for HELIOS.

Let $z(\hat{p})$ be a feasible schedule returned for forecast $\hat{p}$, let $z^*(p)$ minimize settlement cost over the *same* feasible set, and write

$$L(p, z) = p^\top g(z) + k(z), \quad k(z) = 2 \sum_h c_h + 8 \sum_h d_h. \quad (10)$$

Define decision regret $\mathcal{R} = L(p, z(\hat{p})) - L(p, z^*(p))$. It excludes corporate overhead: that belongs to the separate annual policy comparison.

Proposition 1 (Forecast error is mediated by the decision). *Suppose both schedules are feasible for the same nonempty bounded problem, and the forecast schedule is within ε of its forecast optimum. If imports satisfy $0 \leq g_h \leq \bar{G}$, then*

$$0 \leq \mathcal{R} \leq \sum_h |p_h - \hat{p}_h| |g_h(z(\hat{p})) - g_h(z^*(p))| + \varepsilon \quad (11)$$

$$\leq \bar{G} \|p - \hat{p}\|_1 + \varepsilon. \quad (12)$$

Proof. Write $\Delta g = g(z(\hat{p})) - g(z^*(p))$. Add and subtract the forecast costs to obtain the exact identity

$$\mathcal{R} = (p - \hat{p})^\top \Delta g + \underbrace{L(\hat{p}, z(\hat{p})) - L(\hat{p}, z^*(p))}_{\leq \varepsilon}. \quad (13)$$

Forecast near-optimality bounds the bracketed term; absolute values and $|\Delta g_h| \leq \bar{G}$ give the upper bounds. Settlement optimality gives the lower bound. $\square$

This is a standard comparison argument, not a new general learning theorem. The sharper bound needs a hindsight schedule and is therefore retrospective. Neither bound proves forecast quality or physical adequacy. A floating-point primal-dual gap is not automatically a rigorous ε bound unless primal and dual feasibility errors are also controlled.

6.1 A secondary audit of the frozen challenge

Edition 2 re-evaluates the identity and inequalities on the unchanged 512-day challenge. No model is fitted or selected again for this analysis. With a numerical allowance of 10^{-5} CAD and $\bar{G} = 70$ MW, all 1,024 policy-day checks satisfy the bounds. The largest identity discrepancy is below 6×10^{-11} CAD. This is numerical conformance, not interval-arithmetic certification. [S01]

Table 3. Frozen-challenge error and decision cost. The final two columns are mean retrospective quantities in CAD per campus-day. Corporate overhead is excluded.

Policy	Price RMSE	Regret	Bound in (11)
Selected Beta	12.914	877.799	2,528.302
HELIOS G2	4.076	312.759	734.908

Price RMSE is in CAD/MWh. The looser import-cap bound averages CA\$15,206.309 for Beta and CA\$5,289.935 for HELIOS. Its looseness is informative: an error norm alone cannot reveal when scheduling choices are insensitive to errors or when a small error crosses a consequential decision boundary. The G1 T07 loss remains a concrete warning against selecting on RMSE alone.

A profitable mean is not a promise about every day

Before fixed overhead, HELIOS beats Beta on 463 of the 512 final days, ties on two and loses on 47, using a 10^{-6} CAD tie tolerance. The mean daily advantage is CA\$565.04; the median is CA\$396.45. The observed range is CA\$−481.94 to CA\$5,512.35. These are empirical descriptions of this synthetic sample, not bounds on future downside.

7 Numerical evidence and admission semantics

7.1 Two complementary checkers

The matrix-based certificate recomputes equality residuals, inequality and bound excesses, non-simultaneous operation, dual signs, stationarity and primal–dual gap. Feasibility tolerance is 10^{-6} ; dual stationarity, sign and absolute gap tolerance is 10^{-5} . A second implementation checks power balance, storage dynamics, deadlines and bounds directly from the schedule, without reusing the LP matrices. It shares the capacity constants and author, so this is implementation separation, not independent institutional review.

Proposition 2 (The scope of a linear-programming certificate). *For an exact feasible primal point and dual multipliers with the required signs and exact stationarity, a zero primal–dual objective gap establishes optimality for that LP. It establishes neither the correctness of its forecast nor the adequacy of its physical model.*

Proof. Weak duality bounds every feasible primal cost below by a feasible dual objective. Equality of the retained primal and dual objectives closes that bound. Replacing the forecast, feasible set or physical interpretation changes the optimization problem to which the conclusion applies. $\square$

The retained floating-point certificates approximate these conditions at the stated tolerances. They are not interval-arithmetic proofs or validated cyber-physical certificates. The largest recorded primary gap is 5.821×10^{-11} CAD; the final-challenge maximum is 4.366×10^{-11} CAD. [E04, E06]

7.2 An explicit operating sequence

Algorithm 1 — Local proposal and research admission

1. Validate the ten-covariate input contract and frozen model identity.
2. Compute the frozen price forecast; build the declared resource problem.
3. Solve the LP; refuse non-success and failed numerical predicates.
4. Write the A0 proposal, input/model digests, forecast, schedule and checks.
5. In the separate evaluator, settle against the synthetic held-out prices.
6. Compare against the predeclared alternatives and practical margin.
7. Record research qualification without granting external effects.

The local admission predicate accepts only an A0 request, an empty external-action list and the declared synthetic-research qualification. This is not a secured remote authorization service. The capability to edit a local JSON file cannot create legitimate production authority.

8 Estimands, uncertainty and the final protocol

At $M = 64$ campuses and $D = 365$ operating days, define

$$C(\pi) = MD \bar{\ell}(\pi) + F_{\pi}, \quad (14)$$

$$\alpha(\pi_H) = \min\{C(\pi_L), C(\pi_B)\} - C(\pi_H). \quad (15)$$

The fixed annual allowances are CA\$300,000 for legacy, CA\$1,000,000 for Beta, and CA\$3,000,000 for HELIOS and its ancestor. Hindsight is assigned the same allowance as HELIOS for the reported bound comparison. These are declared accounting inputs, not measured ownership costs or vendor quotes. The scaling is linear; the experiment does not simulate 64 correlated campuses, congestion feedback or market impact.

8.1 Two uncertainty questions

For the twelve independently generated paired refits, the report uses a Student- t interval around mean trial Alpha with 11 degrees of freedom. This asks about pipeline variation across draws from the same authored simulator. It assumes those trial summaries are an appropriate sample; it is not a distribution-free performance guarantee. The G1 outlier is retained.

Within a fixed fitted-policy challenge, whole days are resampled with replacement. The same sampled day indices apply to every policy, preserving the 24-hour innovation structure and paired comparison. In each draw the cheaper baseline is recomputed. Original primary intervals use 2,000 draws; the final interval uses 4,000. These are conditional percentile intervals, not simultaneous guarantees across a search campaign, and they do not model uncertainty in costs, market design or input provenance.

8.2 Supplementary confirmation, accurately labeled

After the cohort analysis, a separate local protocol freezes the first predesignated G2 model, source and comparator identities before generating 512 new days. It sets a CA\$2,000,000/year practical margin. The rule requires all schedule checks and a lower endpoint above that margin. It is a fresh supplementary challenge, but it is not an independent original preregistration: the author already

knew the cohort outcomes and simulator. The distinction between adaptive research and protected confirmation matters [10]. [E05]

9 Results: a useful specialist with visible failures

9.1 Repeated cohort results

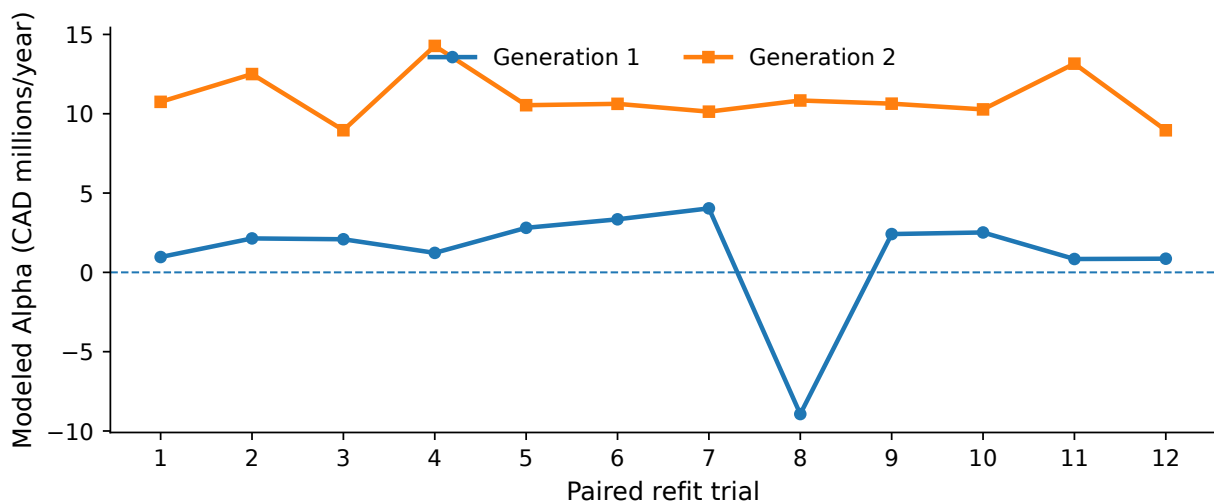


Figure 2. Competitive Alpha across all twelve paired trials. Generation 1’s negative T07 result is retained. Generation 2 wins in all twelve under the simulator and fixed annual costs; this is not a population win-rate guarantee.

G1 produces mean Alpha of CA\$1,192,433, with interval [CA\$−932,906, CA\$3,317,773]. It wins 11/12 trials, yet T07 loses CA\$8,933,481. Its cross-cohort promotion is therefore refused. G2 produces mean Alpha of CA\$10,970,293, with interval [CA\$9,959,745, CA\$11,980,840], and a local synthetic-research pass in all twelve comparisons. The complete 24-run ledger is retained in Appendix C.

A revealing G1 counterexample separates forecast accuracy from decision value. In T07 the specialist’s mean per-day price RMSE is 6.224 CAD/MWh versus Beta’s 8.412, yet its settled dispatch is worse. Lower average price error does not guarantee better scheduling. No outlier deletion or retrospective choice of the best trial repairs this result. [E03, E04]

9.2 The frozen 512-day challenge

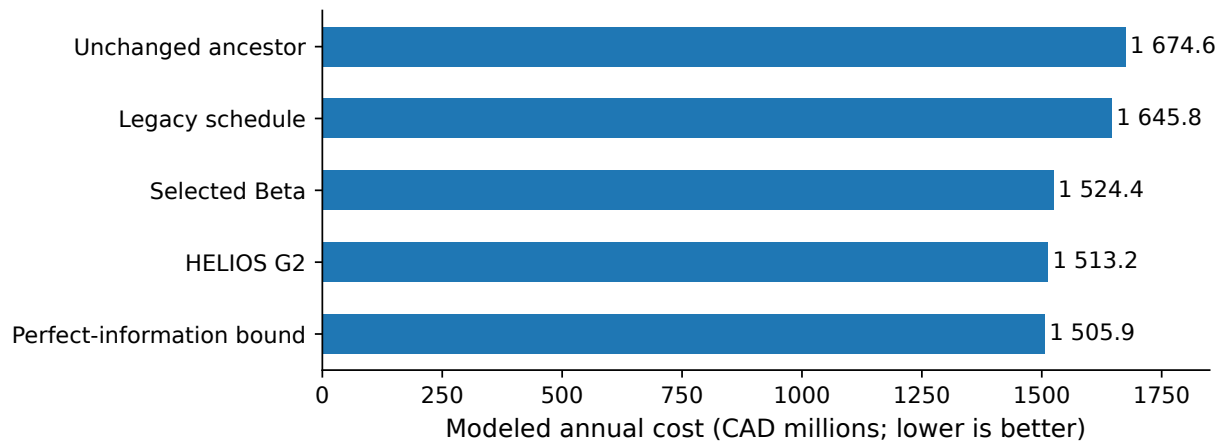


Figure 3. Final-challenge annualized costs at the assumed 64-campus scale. Lower is better. Hindsight is an informational bound; legacy has a narrower workload decision set. The practical comparison is HELIOS versus development-selected Beta.

HELIOS costs CA\$1,513,187,858/year versus Beta's CA\$1,524,387,199, giving Alpha of CA\$11,199,341. The conditional interval is [CA\$9,895,126, CA\$12,597,263], above the locally fixed margin. The advantage is about 0.735% of Beta's annual energy-plus-policy cost. A small relative improvement is valuable at this assumed scale; it is not an order-of-magnitude efficiency discovery. The annualized contrast with legacy is CA\$132,564,553; with the unchanged ancestor it is CA\$161,423,195. They must not be added to competitive Alpha. HELIOS remains CA\$7,306,054/year above the hindsight lower cost. Both ancestor and successor energy models are freshly fitted in their own regimes; the succession result is adaptation through retraining, not neural-weight inheritance. [E06]

9.3 Secondary break-even analysis

On the final challenge, Beta minus HELIOS has mean gross avoided settlement cost of CA\$565.040,277 per campus-day. With a common realized fraction q and M campuses, an explicitly publication-only calculation is

$$\alpha(M, q) = 365Mq(565.040277) - 2,000,000. \quad (16)$$

At $q = 1$, the algebraic threshold is 9.6975 campuses; at $M = 64$, it is $q = 0.151523$. These are thresholds in an assumption ledger, not validated sales or investment break-even estimates. Additional integration or assurance costs must be subtracted. The unchanged forty-year model uses the *twelve-refit mean* daily advantage, 555.235126 CAD, not this final-challenge point estimate.

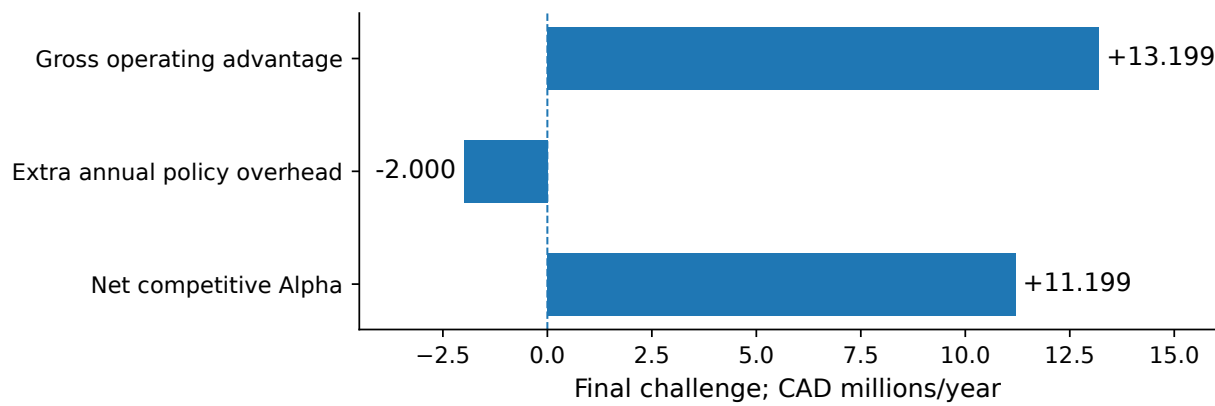


Figure 4. From gross energy advantage to net competitive Alpha on the unchanged final challenge. The annualization assumes 64 campuses; the two-million-dollar policy-cost difference is subtracted once.

10 A schedule witness and engineered refusal

The retained witness is the first T00_G2 challenge day, not a day selected for the largest gain. Its learned forecast drives a feasible schedule completing 600 MWh and restoring storage to 40 MWh. Settlement costs CA\$81,334.22 for HELIOS and CA\$82,166.13 for Beta, a difference of CA\$831.91 for that day and campus. HELIOS imports slightly more electricity, so this is a timing-and-cost advantage, not physical energy-efficiency evidence. The witness happens to match the hindsight cost; the full challenge does not.

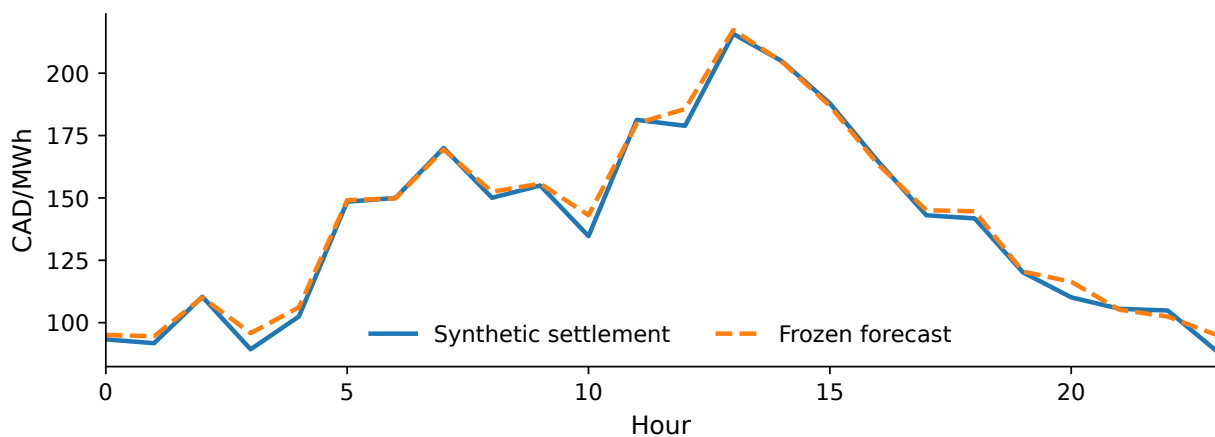


Figure 5. Frozen prediction and synthetic settlement prices for the retained witness. Prices become available to the evaluator after planning; no settlement series is consumed by the proposal command.

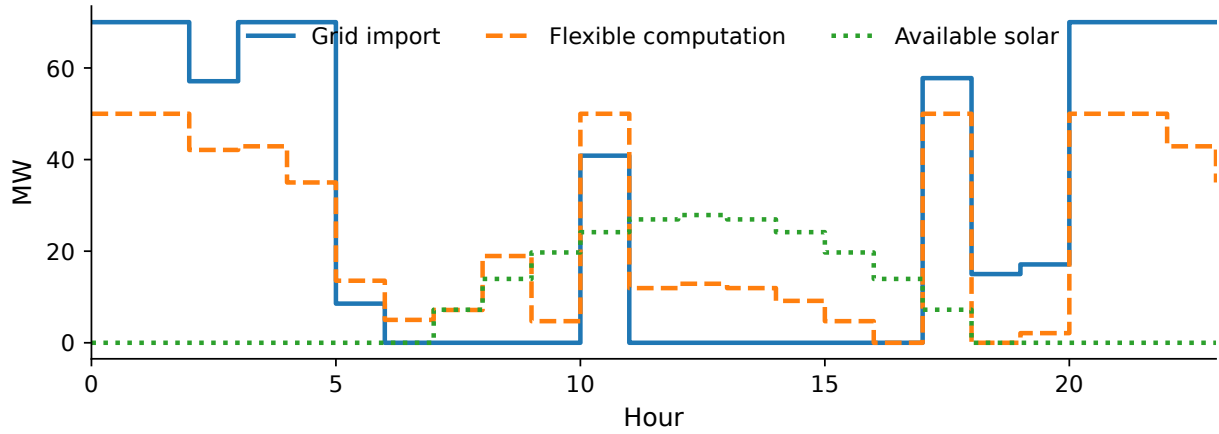


Figure 6. The same witness: grid imports, flexible work and available solar. These are one-hour simulation values, not telemetry. The battery state and full schedule are preserved separately.

Four post-primary stress suites use 32 new days each. A 40 MW grid ceiling, a 5 MW/40 MWh battery and zero solar produce feasible alternative schedules. A 5 MW import ceiling causes all 32 proposals to be refused. With equal initial and final storage, imported plus available solar energy cannot supply the prescribed 960 MWh of base and flexible work under that limit. This physical-budget contradiction supports refusal; the wrapper itself labels any solver non-success as INFEASIBLE and does not distinguish every numerical failure or supply a Farkas certificate. [E07]

The 198 additional validations include input-domain rejection, NaNs, changed schedules, invented work, storage creation, terminal-energy theft and inadmissible effect requests. Passing them establishes selected local software properties. It does not certify a real battery, guarantee trustworthy forecasts or rule out maliciously falsified observations.

11 From operating Alpha to a capital ledger

11.1 Keep the same enterprise on both sides

The separate capital model starts both routes with 64 campuses at CA\$350,000,000 each: CA\$22,400,000,000 of assumed productive assets. Service contribution is CA\$400 per MWh of completed work before energy and fixed costs, staff/maintenance is CA\$12,000,000 per site-year, and replacement cash allowance is 8% of original unit capex, or CA\$28,000,000 per site-year. These values are assumptions, not market estimates.

Let n_t be commissioned campuses, e_π mean daily energy cost and F_π corporate policy overhead. Annual operating cash is

$$O_t(\pi) = n_t[600 \cdot 365 \cdot 400 - 365e_\pi - 12,000,000 - .08 \cdot 350,000,000] - F_\pi. \quad (17)$$

Of positive operating cash, 40% is distributed and 60% retained. Losses first consume retained cash; the implementation raises an error if external financing would be needed. There is no invented debt capacity. A two-year construction pipeline, demand cap and eight-campus annual order ceiling restrict expansion.

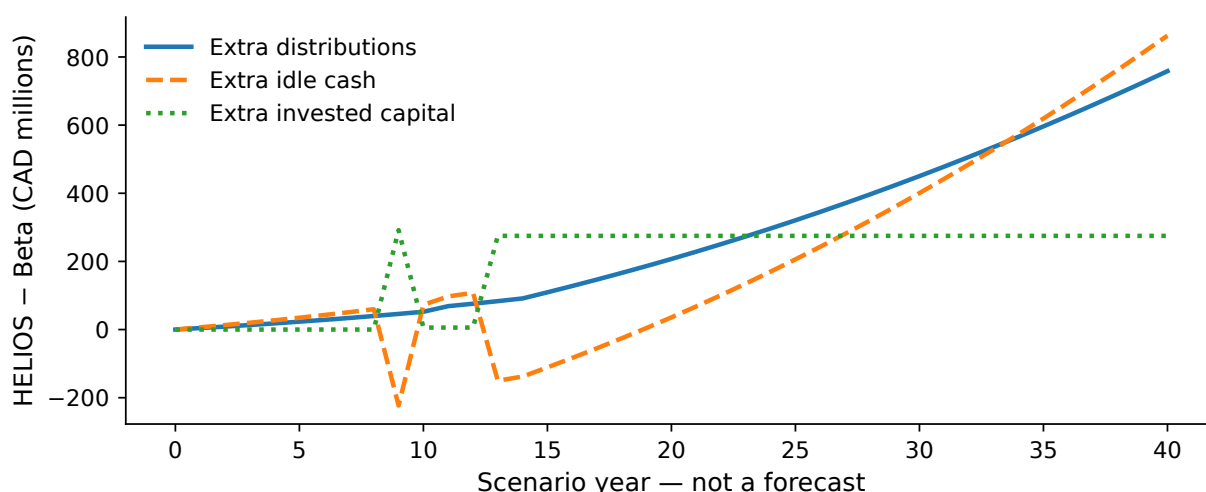


Figure 7. Paired capital accounts, HELIOS minus Beta. The scenario uses mean G2 energy costs, fixed contribution and renewal assumptions, and no discounting. These distinct accounts are not additive measures of enterprise value.

11.2 The result is incremental, not the whole enterprise

At year 40, HELIOS has CA\$758,428,115 more cumulative distributions, CA\$862,648,103 more retained reinvestment cash and CA\$274,994,071 more cumulative capital invested. It has 308 operating campuses versus Beta's 307—15.40 versus 15.35 GW of flexible-load capacity. Cumulative invested capital includes original assets and paid projects, including those not yet commissioned; it is not a terminal market valuation. [E10]

The 8-campus order ceiling eventually binds. Extra operating cash accumulates faster than it can be converted to installed assets. That observation suggests a future commissioning or construction mission, but the price model does not solve that mission. At 50% realization of the assumed gross energy advantage, extra distributions fall to CA\$463,428,115; with no gross advantage they become CA\$-32,000,000 because of additional policy overhead.

No taxes, leverage, discounting, interest on retained cash, technology obsolescence, endogenous electricity prices or competitive erosion are modeled. Future service contribution and mean G2 energy economics are held constant. The scenario demonstrates transparent accounting under those assumptions, not the ability of a low-priced software purchase to create an infrastructure company from nothing.

12 What survives erosion, overhead and delivery limits?

A forty-year constant advantage is a demanding assumption. Edition 2 therefore adds a *secondary*, fixed-evidence sensitivity analysis. It neither changes the selected model nor supplies a new performance sample. Its purpose is to expose the economic obligations that a real deployment would have to meet.

12.1 An operating envelope rather than a valuation

The final challenge's mean gross avoided cost is CA\$565,040,277 per campus-day. At 64 campuses, its annual gross advantage is CA\$13,199,340.87. With extra annual overhead K and a retained fraction q of that gross advantage,

$$\alpha(q, K) = 13,199,340.87 q - K. \quad (18)$$

The observed modeled net result sets $q = 1$ and $K = \text{CA\$2,000,000}$. Break-even is $q_{\text{BE}} = 0.1515227$ at that overhead. The practical CA\$2,000,000 superiority margin requires $q > 0.3030454$ for the *point* calculation. These are deterministic ledger thresholds, not statistical guarantees about q .

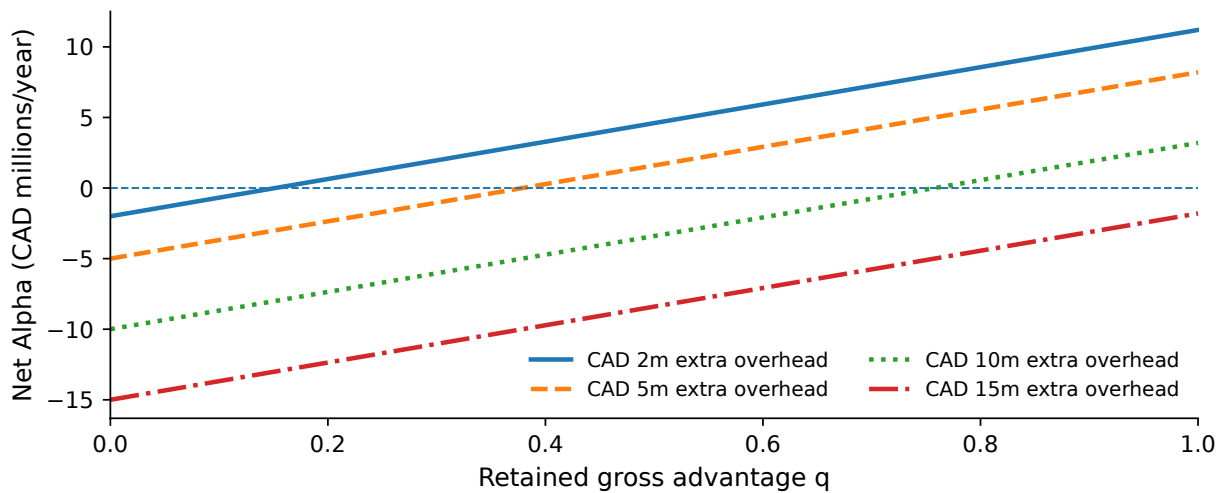


Figure 8. Secondary fixed-output envelope. Lines vary extra annual overhead while scaling the recorded gross Beta advantage. Zero is break-even; the calculation does not re-optimize schedules, establish persistence or describe a confidence band.

Selecting the same forecast and dispatcher as a baseline cannot generate prediction Alpha over itself. If the surrounding institution adds nonnegative overhead without changing outcomes, the incremental cost-adjusted value is nonpositive. Its value must instead be demonstrated through an appropriate comparison of review, recovery, accountable replacement or other measured institutional outcomes. The present paper assigns none of those unmeasured benefits a cash value.

12.2 Erosion in the paired capital account

For the forty-year analysis, retain the *twelve-refit mean* daily advantage and set

$$q_t = \exp[-\lambda(t-1)], \quad e_{H,t} = e_B + q_t(e_H - e_B). \quad (19)$$

All other accounting rules remain as in the original scenario. The extra corporate overhead remains CA\$2,000,000 per year even if the edge fades. No retraining, switching rule, discovery dividend, interest on idle cash or automatic new capability is credited. Every trajectory pays for its new campuses from its own retained cash.

Table 4. Secondary advantage-persistence scenarios with the original eight-campus annual order ceiling. Amounts are HELIOS minus Beta, in modeled CAD millions over forty years.

λ	Half-life	Distributions	Idle cash	Extra sites
0	No erosion	758.43	862.65	1
.02	34.66 years	557.28	560.93	1
.05	13.86 years	394.89	322.62	1
.10	6.93 years	288.80	168.55	1
.20	3.47 years	30.96	32.18	0

The cash-account identity is rechecked in every scenario. At $\lambda = 0$, all eighty annual route records reconcile to the original implementation. At zero gross advantage from the start, the extra overhead reduces distributions by CA\$32,000,000. A fading operating edge can leave useful inherited capital, but the path is neither perpetual nor guaranteed. Integer campus purchases make the response discontinuous.

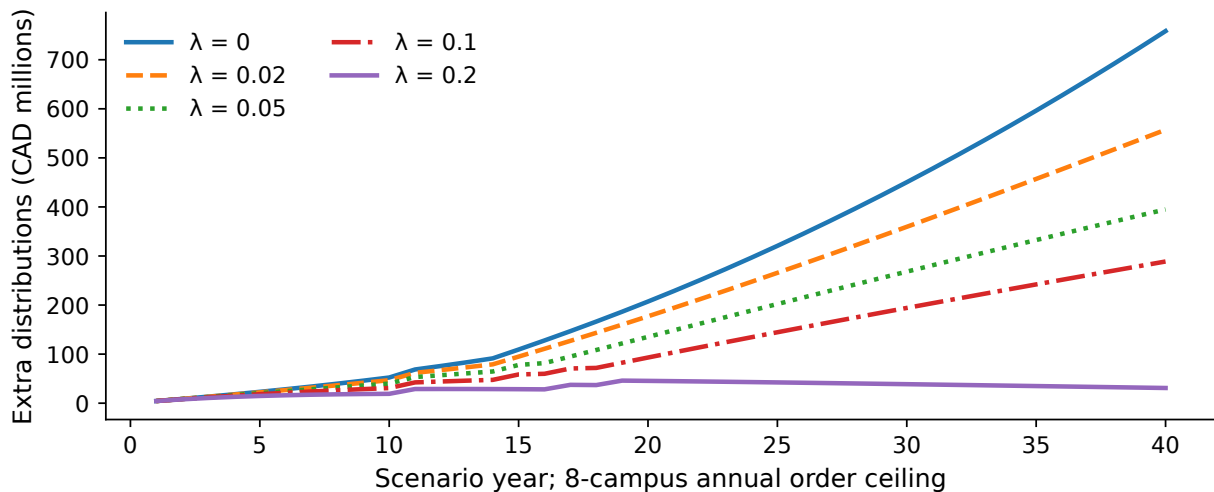


Figure 9. Additional cumulative distributions as the operating edge erodes. All curves use the same declared starting assets and reinvestment rules. They are conditional scenarios, not forecasts or independent empirical evidence.

12.3 Construction throughput changes the use of the surplus

Holding the edge constant, changing the common annual order ceiling from four to eight, twelve or sixteen yields respectively zero, one, one and three additional operating campuses. The corresponding extra distributions are CA\$395,533,268, CA\$758,428,115, CA\$812,893,220 and CA\$1,060,544,964, rounded. Both enterprises receive the same capacity allowance; none of the increase in construction throughput is attributed to the price model. [S02]

For a separate timing diagnostic, discount only the annual incremental distributions at illustrative rates. At 7%, the original constant-edge scenario has a discounted distribution difference of CA\$160,072,325; at 10%, CA\$97,725,869. These are not enterprise values: no terminal asset value or retained cash is included, and the rates are assumed, not estimated capital costs. Appendix J records the complete grid.

13 Succession, evidence and the next productive mission

The native mission examples retain the constitution, admitted evidence, learned triage parameters, local comparisons, Chronicle and exact ancestor reference. G1 selects a 123-parameter Balanced Synthesist; G2 selects an 83-parameter Compact Explorer. Those are separate triage results and are not the price specialist's architectures. Natural-language constraints are bound into the native object, not automatically compiled into the LP or a universal safety policy. The native planning illustration's required CA\$1 value is excluded from every economic conclusion.

Signatures, hashes and possession challenges support modification detection and consistency relative to a key; their meaning depends on the surrounding identity and custody arrangements [11]. Here the owner label is self-issued, the public key is embedded, and only the private signing key is encrypted. Evidence and model contents remain readable. No signature makes a forecast true, authenticates exclusive ownership or supplies independent performance proof.

The local qualification record binds both mission generations, the selected energy model, forecast source, dispatcher, checker and final result. It records no independent receipt and no production admission. Conceptually, this separation aligns with lifecycle risk management [12]; it is not NIST certification, legal compliance advice or a new trusted external gateway.

13.1 A scalable research programme is a proposal

The long-horizon institution can retain methods and failures as it commissions new missions: delivered-energy reliability, application-level compute throughput, materials yield, manufacturing throughput and safe commissioning. Each requires its own admissible data, strong alternatives and operational evidence. No such specialist is trained in this capsule.

Energy scheduling may fund the next mission if real operating gains survive proof, but capacity, heat rejection, material supply and delivery lead times do not disappear. The resource appendix makes collector and radiator assumptions explicit. It is intentionally separate from the 40-year terrestrial capital ledger; no astronomical deployment or construction timetable is inferred from the model.

14 Threats to validity and a real-data acceptance contract

Structural prior. The generator and scarcity basis were co-designed. The finite generic grid excludes some structural and oracle-informed alternatives and current commercial services. Equal raw inputs do not equalize prior knowledge or search. Local Alpha is not universal dominance.

Information and time. Covariates, solar and work are known exactly. Independent days omit multiday persistence and real market-regime uncertainty. The day bootstrap fits this simulator, not necessarily an operational time series; hourly rows are not independent samples.

Physical adequacy. Forecast optimality omits network, thermal, wear and outage constraints. Negative prices are clipped away. The no-cycle check is not a universally exact storage formulation. Operational code should distinguish infeasibility, unboundedness, time limits and numerical failure, which the wrapper currently conflates.

Attribution. No real settlement, intervention or avoided outage is observed. Capital growth assumes an existing profitable enterprise and persistent mean advantage. A fixed-model experiment would be needed to isolate institutional effects on review time, recovery, governance cost or operational error. The energy returns are not an isolated return to the platform.

Custody. One authoring workflow controls protocols, generation, fitting and evaluation. Separate checkers and clean replays are engineering controls, not independent replication. The embedded commercial product remains licensed; sharing the paper does not license the software publicly.

Proposed external acceptance contract

Freeze the real source-to-signal adapter, complete forecast–dispatch composition, feasible operating envelope, eligible comparators, costs, practical margin and stop rules. Give an independent team custody of authorized new operational evidence. Run shadow proposals first; settle at actual prices and measure completed useful work. Only then consider explicitly limited intervention, monitoring, revocation and rollback. None of these future steps is marked completed here.

15 Conclusion

HELIOS Ω is an executed example of a technical user connecting a learned specialist to verified proposals, retained mission evidence and a paired capital account. Its second-generation composition earns positive competitive Alpha across twelve synthetic refits and a supplementary fresh challenge. Its first-generation failure is preserved, and its perfect-information gap remains visible. The more durable result is the architecture of attribution. The customer retains the mission when the model changes; a numerical certificate remains attached to a declared problem; policy superiority is measured against a credible tested alternative; and the capital ledger credits only the difference between otherwise matched enterprises. The outcome supports a locally qualified research specialist—not real-world superintelligence, realized wealth or autonomous production authority.

Learn the advantage. Retain the evidence. Allocate the surplus only after the advantage survives the next relevant test.

A The exact synthetic price generator

The executable specification is `05_REPRODUCE/lab.py`. This appendix describes it without implying real-market calibration. Let $a_h = 2\pi h/24$ and use $s = \sin a_h$, $c = \cos a_h$, $s_2 = \sin 2a_h$, $c_2 = \cos 2a_h$. The observable row is $x = (s, c, s_2, c_2, \tau, w, f, d, o, r)$. Temperature, wind, fuel and demand levels are drawn independently per day from uniforms on $[.1, .9]$, $[.08, .85]$, $[.3, .9]$ and $[.3, .95]$. Outage o is 0, .5 or 1 with probabilities .60, .25 and .15; region r is uniform on $[-1, 1]$.

Hourly temperature is its daily level plus $.15 \sin(a_h - 1)$ and Gaussian noise with standard deviation .025. Wind adds $.12 \cos(a_h + .8)$ and noise .035; demand adds $.13 \sin(a_h - 2)$ and noise .02. These three variables are clipped to $[0, 1]$. Fuel, outage and region remain constant within a day. Define

$$z = \max(0, d + .5\tau - .65w + .25o - .52). \quad (20)$$

The pre-innovation means are

$$\mu_1 = 55 + 12s - 14c + 9s_2 + 20f + 24z^2 + 22z \quad (21)$$

$$+ 18o(.5 + .5s) + 12\tau c - 11ws_2 + 7rc_2 \quad (22)$$

$$+ 60(z - .4)_+ + 180(z - .7)_+^2 + 80(z - .4)_+(1 + s_2),$$

$$\mu_2 = 61 - 8s + 16c - 9s_2 + 22f + 48z^2 + 34z \quad (23)$$

$$+ 32o(.5 - .5s) - 8\tau c + 16ws_2 - 9rc_2 \quad (24)$$

$$+ 95(z - .4)_+ + 320(z - .7)_+^2 + 120(z - .4)_+(1 + s_2).$$

Here $(v)_+ = \max(0, v)$. Price is clipped to $[5, 600]$ after adding a shared daily $\mathcal{N}(0, 2.5^2)$ innovation and independent hourly $2.5t_6$ noise. The retained mean field is diagnostic and is not an inference feature. The solar profile is

$$s_h^{\text{solar}} = 40 \max\{0, \sin[(h - 6)\pi/12]\}(.55 + .40U), \quad U \sim \mathcal{U}(0, 1). \quad (25)$$

The same covariate and solar sampling laws apply in both regimes; only the price relation changes. Seeds for trial $j = 0, \dots, 11$, generation $g \in \{1, 2\}$ and partition $k \in \{0, 1, 2\}$ are

$$804000 + 100j + 10g + k, \quad (26)$$

where k denotes training, development and challenge. The final challenge uses 881001; its bootstrap uses 881002. Stress seeds are 850000 through 850003. The source order of random draws is part of exact replay.

Interpretation. The scarcity function is an authored mechanism, not a discovered economic law. The specialist's hinges and interactions reflect prior knowledge of that mechanism. Innovations are hidden, but the author is not blind to the data-generating process. A strong result under that arrangement supports correct execution and local usefulness, not algorithmic novelty or market transportability.

B Feature map and complete fitting specification

The structured map contains the ten raw features, followed by these seventeen terms:

$$(z, z^2, os, oc, \tau c, \tau s, ws_2, wc_2, rc_2, rs_2, d\tau, wd, \tau^2, w^2, sc, ss_2, cc_2). \quad (27)$$

For $k \in \{.2, .4, .6, .8\}$, it appends $(z - k)_+^p$ for $p \in \{1, 2\}$, then the same eight terms multiplied by s_2 . The total is $10 + 17 + 8 + 8 = 43$. The generator's quadratic hinge at .7 is not an exact member of this basis. Standardization uses training means and scales only; the intercept is not penalized by ridge. The 44 fitted regression parameters exclude normalization metadata.

Table 5. Complete candidate grid. Every candidate is fitted on the same 96 training days per generation.

Family	Declared specification	Fits/round
Raw ridge	StandardScaler + ridge $\lambda = 1$	1
Polynomial ridge	Degree two, no bias feature; StandardScaler; $\lambda = 10, 100$	2
Histogram boosting	(leaves, rate): (7,.05), (15,.1), (31,.05); 180 iterations; L2=2; no early stopping; seed 51	3
Extra trees	128 trees; minimum leaf 3; all features; seed 51; one thread	1
Structured ridge	43-feature map; $\lambda = .01, .1, 1, 10$	4

Polynomial expansion of ten inputs yields 65 features before its fitted intercept. The three boosting models retain the library's other defaults in scikit-learn 1.8.0, including minimum leaf size 20. Ties in development cost follow Python's stable first-minimum selection in declared grid order. The selected final specialist is `structured_10`; its Beta is `poly2_10`.

Export schemas cover structured ridge, polynomial ridge, histogram trees and extra trees. All distributed inference models use JSON, not a pickle payload. The portable Node implementation is used for the selected structured forecaster. The supplied record reports 4,608 hourly predictions with maximum difference about 1.14×10^{-13} relative to Python. The paper does not turn that one-model parity test into a universal cross-platform guarantee. [E09]

C All paired cohort outcomes

Each row is a complete fresh fit and challenge, not another evaluation seed for the same trained model. Alpha includes the fixed annual cost difference at 64 campuses. H RMSE is the mean of per-day hourly RMSE values in CAD/MWh, not the pooled-hour RMSE. Trial numbering follows the retained T00–T11 folders.

Trial	Gen.	Beta	λ_H	Alpha (CAD m/y)	H RMSE
00	1	hist15_01	10.00	0.966	3.771
00	2	poly2_10	10.00	10.750	3.854
01	1	hist15_01	0.10	2.140	3.737
01	2	poly2_10	0.01	12.502	3.896
02	1	hist15_01	1.00	2.087	3.895
02	2	hist31_005	0.01	8.961	3.884
03	1	hist31_005	1.00	1.228	3.948
03	2	extra_trees	0.01	14.277	3.897
04	1	hist15_01	10.00	2.808	3.916
04	2	poly2_100	1.00	10.539	3.856
05	1	hist7_005	0.01	3.344	4.055
05	2	poly2_10	0.01	10.625	3.881
06	1	poly2_100	10.00	4.035	3.804
06	2	poly2_10	1.00	10.131	3.954
07	1	hist15_01	1.00	−8.933	6.224
07	2	poly2_10	0.01	10.836	3.898
08	1	hist15_01	10.00	2.415	3.940
08	2	poly2_10	10.00	10.635	4.097
09	1	poly2_100	10.00	2.516	4.200
09	2	poly2_100	0.01	10.274	3.790
10	1	hist15_01	10.00	0.842	3.874
10	2	poly2_10	1.00	13.158	3.893
11	1	hist15_01	0.01	0.861	3.903
11	2	hist15_01	10.00	8.957	4.127

The histogram name records leaf count and learning rate; poly2 denotes degree-two ridge. A low average prediction error does not prevent a large scheduling loss: G1 T07 is the counterexample discussed in the main text. No row has been suppressed as an inconvenient failure.

D Schedule certificates and complete witness

The decision vector order is

$$x = (g_{0:23}, w_{0:23}, c_{0:23}, d_{0:23}, b_{0:24}, u_{0:23}) \in \mathbb{R}^{145}. \quad (28)$$

The matrix problem is $\min q^\top x$ subject to $Ax = a$, $Bx \leq b$ and $l \leq x \leq u$. Using SciPy’s marginal convention, equality multipliers y are free, inequality multipliers $\mu \leq 0$, lower-bound multipliers

$\lambda \geq 0$, and upper-bound multipliers $v \leq 0$. The checked stationarity equation and dual objective are

$$q - A^T y - B^T \mu - \lambda - v = 0, \quad (29)$$

$$d(y, \mu, \lambda, v) = a^T y + b^T \mu + l^T \lambda + u^T v. \quad (30)$$

The certificate records $|q^T x - d|$, sign excess and residuals. The bound notation u here is not the solar-curtailement vector used in the physical equations.

Table 7. Recorded maxima over the 20,736 primary schedules. Different residuals carry their corresponding equation units; a single tolerance does not imply equal physical significance.

Check	Maximum
Equality residual	2.274×10^{-13}
Inequality excess	1.706×10^{-13}
Bound excess	1.492×10^{-13}
Simultaneous charge/discharge	0 MW
Stationarity residual	4.263×10^{-14}
Absolute primal–dual gap	5.821×10^{-11} CAD
Dual sign excess	2.842×10^{-14}

The independent-equation implementation uses strict $< 10^{-6}$ for several residuals; the matrix certificate uses $\leq 10^{-6}$. All observed values lie far below either boundary. The checkers certify the numerical schedule under the declared one-hour model, not battery health, grid reliability or source-data truth.

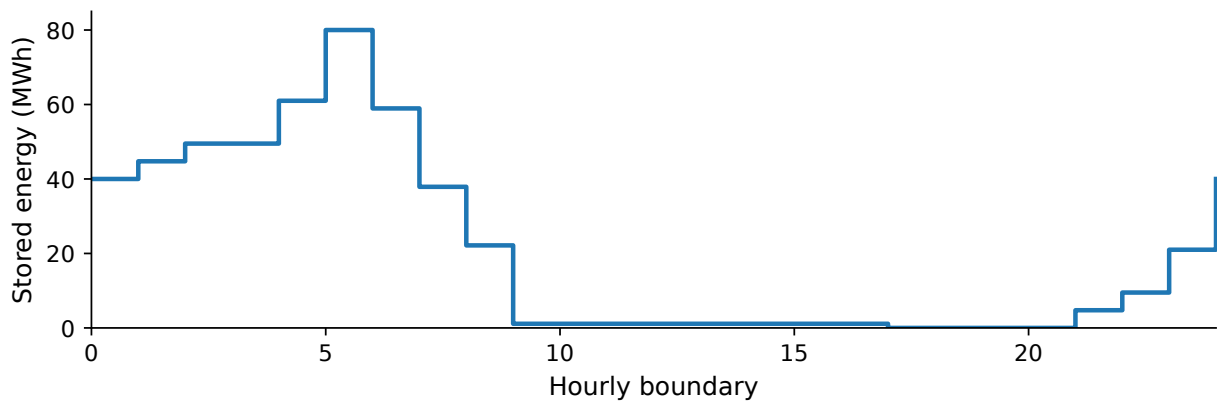


Figure 10. Stored energy for the retained first-day witness. Initial and terminal energy both equal 40 MWh; this prevents apparent daily gains from consuming unpriced terminal inventory.

The artifact stores the complete 145-component witness, forecasts, actual synthetic prices and dual multipliers. For the final challenge it stores all plans and cost ledgers, but not every per-day dual vector. The publication rerun recomputes the solver checks; it does not claim that every original dual witness was retained.

E The exact capital transition and sensitivity

Let q_t be orders placed in year t , $L = 2$ commissioning years, K_t retained cash after orders and R_t distributed cash. The code commissions due projects before computing that year's operating cash. Initialize $n_0 = 64$, $K_0 = 0$ and $q_t = 0$ for $t \leq 0$. With reinvestment $\rho = .6$,

$$n_t = n_{t-1} + q_{t-L}, \quad (31)$$

$$R_t = (1 - \rho) \max(O_t, 0), \quad (32)$$

$$P_t = K_{t-1} + O_t - R_t, \quad (33)$$

$$k_t = 350,000,000 \max\{.70, .98^t\}, \quad (34)$$

$$U_t = \max\{0, \lfloor 64(1.12)^t \rfloor - n_t - \text{pipeline}_t\}, \quad (35)$$

$$q_t = \min\{\lfloor \max(P_t, 0)/k_t \rfloor, 8, U_t\}, \quad (36)$$

$$K_t = P_t - k_t q_t. \quad (37)$$

All orders are integer-valued and paid when placed. A negative K_t beyond numerical tolerance raises a financing error. No order is issued beyond the declared demand room, and existing pipeline orders are deducted from that room.

Proposition 3 (Capital attribution requires a counterfactual). *For two routes with identical initial capital and common accounting definitions, only the differences between their terminal cash, distributions and invested-capital accounts can be attributed to the changed policy within that scenario. Common baseline growth is not incremental policy value.*

Proof. Subtract the two cash transitions in equation (37) year by year. Identical initial retained cash cancels. The remaining difference is the sum of operating-cash differences minus distribution and capital-spending differences. No term credits the shared initial asset stock or shared baseline cash flow to the policy. $\square$

Table 8. Terminal year-40 accounts. Cumulative capital includes the original asset base and paid uncommissioned orders. None of these is a market valuation.

Account	Beta	HELIOS	Difference
Operating campuses	307	308	1
Flexible capacity (GW)	15.35	15.40	0.05
Distributions (CAD millions)	62,486.31	63,244.74	758.43
Retained cash (CAD millions)	27,344.18	28,206.82	862.65
Capital invested (CAD millions)	88,785.29	89,060.28	274.99

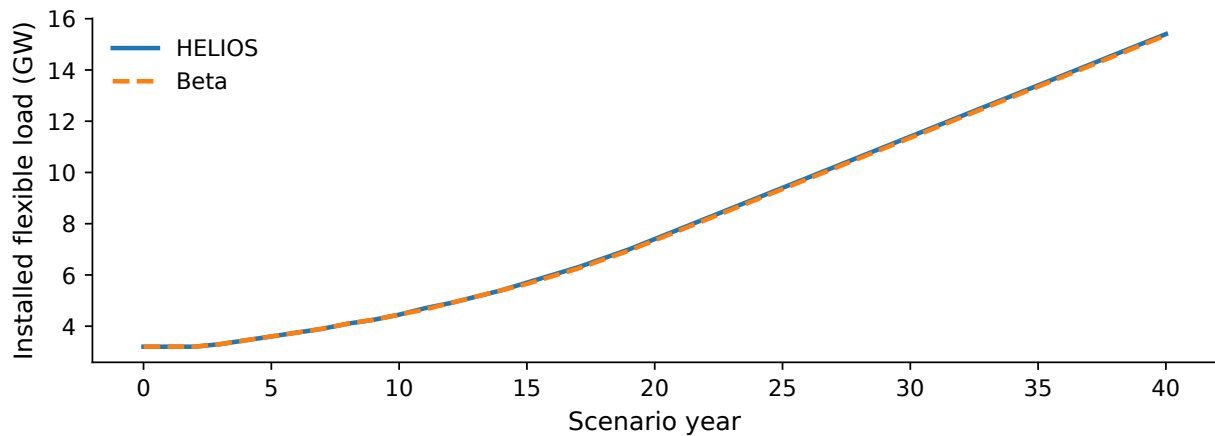


Figure 11. Both routes grow under the same assumed business economics. The one-campus difference, not all 308 campuses, is the capacity increment credited to HELIOS in this scenario.

Table 9. Sensitivity of the unchanged capital model. Monetary columns are HELIOS minus Beta. The realized gross-energy fraction q is an assumption, not a fitted probability.

q	Distributions (CAD m)	Capital invested (CAD m)	H campuses
0.00	-32.000	0.000	307
0.25	119.712	8.433	307
0.50	463.425	259.269	308
1.00	758.428	274.994	308

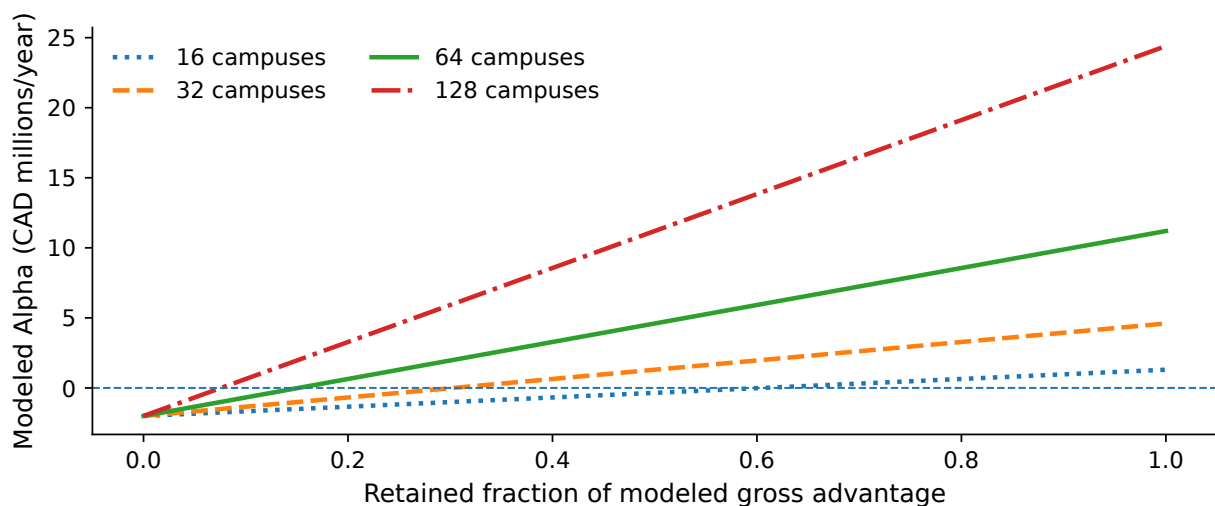


Figure 12. Publication-only operating sensitivity from the final frozen challenge. The 2-million-CAD annual overhead remains fixed. This plot and the original capital table use different reference averages and are not interchangeable.

A larger portfolio can increase apparent annual Alpha under linear scaling, but that arithmetic does not establish market capacity, available demand, financing, causal savings or a scalable source of correctly predicted prices. The original forty-year model retains no interest on idle cash and does not feed accumulated capital back into a measured research-learning curve.

F A bounded physical resource horizon

The capsule includes a separate resource worksheet. For power P , ideal normal solar irradiance I and electrical efficiency η , its collector-area calculation is

$$A_{\text{col}} = \frac{P}{\eta I}. \quad (38)$$

NASA's near-Earth reference is approximately $I = 1361 \text{ W/m}^2$ [13]. It is not average usable irradiance at a terrestrial site. With assumed $\eta = .30$ and $P = 10^{12} \text{ W}$, the ideal collecting area is approximately $2,449 \text{ km}^2$.

If useful electric power becomes heat, a notional radiating-area equation is

$$A_{\text{rad}} = \frac{P}{\epsilon \sigma (T^4 - T_{\text{bg}}^4)}, \quad (39)$$

with the NIST constant $\sigma = 5.670374419 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ [14], assumed emissivity .9, temperature 340 K and negligible background relative to that temperature. The corresponding area is about $1,466 \text{ km}^2$. This refers to emitting surface, not a validated radiator installation or ground footprint.

The worksheet's larger power budgets are dimensional calculations only. Incident-energy availability, geometry, self-shading, mass, transport, degradation, transfer loss and reliability must be re-established at each scale. A collection formula does not establish a feasible megastructure, and the capital scenario contains no mechanism demonstrating that such infrastructure will be built. The proposed research programme is a sequence of new technical obligations, not a forecast disguised as a proof.

G Reproduction and publication verification

G.1 Original execution environment

The recorded host is Linux x64, Node.js 22.16.0 and Python 3.13.5 with NumPy 2.3.5, SciPy 1.17.0, scikit-learn 1.8.0 and Matplotlib 3.10.8. The model-and-dispatch study uses local files and no hosted model, wallet or GPU. Installing the pinned dependencies may require a network connection; the subsequent replay does not.

From the extracted simulation root, run in a fresh environment:

```
python 05_REPRODUCE/verify_bundle.py
python -m venv ../helios-venv
# Activate the environment using the command for your shell.
python -m pip install -r 05_REPRODUCE/requirements.txt
python 05_REPRODUCE/reproduce.py --out ../helios-replay
python 05_REPRODUCE/replay_final.py --out ../helios-final
```

Both replay runners refuse existing output directories and do not overwrite the delivered capsule. The primary replay performs all fits, generates the declared challenge, analyzes outcomes and reruns the equation checks. The final replay preserves the frozen supplementary inputs and protocol. Their comparison is same-source repeatability, not independent replication or new confirmatory evidence.

G.2 An executable local proposal

```
python 05_REPRODUCE/operate.py \  
  --model 02_MISSIONS/DISPATCH_G2/model.json \  
  --day-file 03_DATA/STUDY/T00_G2/challenge.npz \  
  --index 0 --out ../helios-proposal --authority A0
```

The proposal command reads X and solar, not price or mean. It writes the forecast, full plan, file digests, numerical certificate and equation-check results. The example file contains settlement values for evaluation, so file access alone does not establish strong information-flow isolation; the executed source path and input-use tests support the narrower claim.

G.3 What was newly checked for this publication

The publication reran the supplied primary campaign and supplementary final challenge in clean output directories. All 48 selected model exports matched exactly and the maximum primary case-cost difference was zero. The full final result matched exactly. The primary replay also reran the 198 mission validations. The publication's separate reconciliation executed 550 checks, re-evaluated all 23,296 stored plans with the equation checker, reconstructed primary and final costs, reproduced the final bootstrap interval, verified frozen digests and reconciled every annual capital cash transition.

The original 33 product self-tests, 16 native checks and portable-forecast parity are retained as supplied evidence; those original counts are not relabeled as new edition-2 executions. Edition 2 reruns the primary and final numerical studies, repeats the 550-check reconciliation, and executes the separate 532-assertion secondary analysis. The assurance report distinguishes each scope.

G.4 Rebuild the publication

```
cd 02_LATEX  
python build.py --lang both --paper both
```

The build uses pdfLaTeX and Biber, with standard TeX-distributed fonts. No font files are bundled. Full English and French text, figures, bibliography and build source are included. The HTML reading editions provide equations as MathML, semantic headings, figure descriptions and linked references. No PDF/UA or assistive-technology certification is claimed.

H Claim-to-evidence index and exact identities

Evidence identifiers below refer to paths relative to the unchanged extracted simulation. Publication-only additions live separately. Short identifiers keep the paper readable; the machine-readable index retains complete paths and file digests.

ID	Claim / scope	Evidence locator
E01	Design, pilots and precommitment	04_EVIDENCE/PROTOCOL.json; 04_EVIDENCE/DEVELOPMENT_PILLOT.json.
E02	Generator, feature map and LP	05_REPRODUCE/lab.py; 05_REPRODUCE/verifier.py.
E03	Selection and freeze	03_DATA/STUDY/FROZEN.json; each run's selection.json.
E04	Primary costs, checks and intervals	03_DATA/STUDY/case_ledger.csv; 03_DATA/STUDY/SOLVER_ACCEPTANCE.json; 04_EVIDENCE/RESULTS.json.
E05	Final practical margin	04_EVIDENCE/FINAL_PROTOCOL.json.
E06	Final results and plans	04_EVIDENCE/FINAL_CHALLENGE/RESULT.json; case_ledger.csv; plans.npz.
E07	Stress and negative tests	04_EVIDENCE/VALIDATION.json; 05_REPRODUCE/validate.py.
E08	Native mission lineage	02_MISSIONS/G1/mission.successor.json; corresponding G2 file; 04_EVIDENCE/NATIVE_ACCEPTANCE.json.
E09	Portable price model	02_MISSIONS/DISPATCH_G2/model.json; 05_REPRODUCE/forecast.mjs; 04_EVIDENCE/PORTABLE_FORECAST_ACCEPTANCE.json.
E10	Paired capital accounts	07_ECONOMICS/CAPITAL_SCENARIO.json; CAPITAL_SENSITIVITY.json; 05_REPRODUCE/capital.py.
E11	Local qualification only	02_MISSIONS/LOCAL_QUALIFICATION.json.
P01	Publication replay	Publication 05_ASSURANCE/PRIMARY_REPLAY.json and FINAL_REPLAY.json.
P02	Publication reconciliation	Publication 04_DATA/paper_analysis.json; tools/analyze.py.
P03	Builds and visual checks	Publication 05_ASSURANCE/PUBLICATION_ACCEPTANCE.json.
S01	Frozen decision-regret audit	Publication 04_DATA/regret_checks.csv; tools/secondary.py.
S02	Persistence, construction and timing	Publication 04_DATA/secondary_analysis.json; 04_DATA/capital_grid.csv.

The complete simulation is preserved byte-for-byte in the full publication bundle. Its original SHA-256 and the embedded product SHA-256 are recorded in 04_DATA/SOURCE_IDENTITIES.json. The public publication-only bundle excludes the licensed commercial product. Hashes establish file identity against the recorded bytes, not independent origin or scientific truth.

I Provenance, authorship and distribution

This AI-assisted report was prepared for Vincent Boucher, President of MONTREAL.AI and QUEBEC.AI, from the supplied HELIOS computational capsule. It does not assert that he personally executed the code, independently reviewed the experiments or supplied a real customer outcome. No coauthors, external affiliations, endorsements, journal acceptance or registered DOI are invented.

The original HELIOS-LAB 1.0.0 source and SUCCESSOR Ω 16.1.0 R6 customer product remain unchanged. The publication adds explanation, formalization, fresh repeatability work, numerical reconciliation and explicitly labeled secondary operating sensitivity. It does not modify the selected model, original prices, cost assumptions, cohort seeds or primary conclusion.

The institutional platform is not assigned the full monetary gain of a customer-built forecaster. The study also does not measure the forecaster's counterfactual superiority after giving Beta the same structural feature map. Such an ablation, stronger external alternatives and independently acquired real evidence would be important next tests.

The price models, native triage learners and optimizer are distinct mechanisms. The G2 price successor is refitted, not warm-started from G1. The code's non-success wrapper is a refusal mechanism, not a general infeasibility theorem. The native constraints are textually bound, not automatically compiled. These interpretive refinements do not alter the retained results; they prevent claims from exceeding what the implementation supports.

The complete research bundle contains commercial software under its original licence. It is not an unrestricted public software release. The paper and its LaTeX/HTML publication-only bundle are separate deliverables for the commissioning organization to publish under its chosen, authorized terms. No new open-source or Creative Commons licence is imposed here.

Edition 2. The primary results from edition 1 are retained. This edition adds the explicitly secondary analyses in Appendix J. No model selection, primary comparison assumption or original A0 decision is changed.

J Edition 2 secondary calculations

These calculations reuse frozen models, costs and schedules. They add no operating-day sample, model fit or confirmatory trial. The capital scenarios are new accounting trajectories under assumptions, not new model-performance outcomes.

J.1 Complete erosion–capacity grid

Amounts are HELIOS minus Beta after forty years, in undiscounted CAD millions. Common parameters remain those of Appendix E.

Order cap	λ	Distributions	Idle cash	Invested	Extra sites
4	0.00	395.53	593.30	0.00	0
4	0.02	242.20	363.30	0.00	0
4	0.05	122.83	184.24	0.00	0
4	0.10	43.95	65.93	0.00	0
4	0.20	1.77	2.65	0.00	0
8	0.00	758.43	862.65	274.99	1
8	0.02	557.28	560.93	274.99	1
8	0.05	394.89	322.62	269.72	1
8	0.10	288.80	168.54	264.65	1
8	0.20	30.96	32.18	14.27	0
12	0.00	812.89	944.35	274.99	1
12	0.02	589.76	609.65	274.99	1
12	0.05	393.76	320.92	269.72	1
12	0.10	118.39	157.93	19.65	0
12	0.20	50.15	60.96	14.27	0
16	0.00	1,060.54	825.82	764.99	3
16	0.02	712.89	549.34	519.99	2
16	0.05	425.20	368.08	269.72	1
16	0.10	157.08	215.97	19.65	0
16	0.20	69.28	89.65	14.27	0

J.2 A partial timing diagnostic for distributions

For an assumed rate r , the diagnostic computes only $\sum_{t=1}^{40} (D_{H,t} - D_{B,t}) / (1 + r)^t$. It implies no observed return, estimated cost of capital, terminal valuation or investment recommendation.

Erosion λ	0%	3%	7%	10%
0.00	758.43	362.17	160.07	97.73
0.02	557.28	276.07	127.99	80.66
0.05	394.89	200.84	96.64	62.64
0.10	288.80	146.83	71.28	46.85
0.20	30.96	28.08	22.71	19.33

J.3 Executed identities and scope

The secondary program checks 480 annual reconciliation values, cash identities and order bounds for twenty scenarios, the zero-gross-gain control, both policies' regret identities and bounds, and the gross-to-net bridge. In total, 532 assertions pass. The 1,024 policy-day rows remain available in CSV; they are not represented as 1,024 independent experiments.

```
python tools/secondary.py \  
  --simulation /path/to/extracted/HELIOS_OMEGA \  
  --out /path/to/new/secondary-analysis
```

Publication evidence locators:

tools/secondary.py

04_DATA/secondary_analysis.json

04_DATA/regret_checks.csv

04_DATA/capital_grid.csv

05_ASSURANCE/INPUT_IDENTITIES.json

References

- [1] MONTREAL.AI / QUEBEC.AI. *HELIOS Ω : Complete Institutional Simulation, HELIOS-LAB 1.0.0*. User-supplied computational capsule. Unchanged SUCCESSOR Ω 16.1.0 R6 customer product; author-controlled synthetic evidence. Exact archive identity appears in Appendix H. Sept. 2026.
- [2] S. Li, L. Tong, and T. D. Mount. *Energy Management for Renewable-Colocated Artificial Intelligence Data Centers*. 2025. DOI: 10.48550/arXiv.2507.08011. arXiv: 2507.08011.
- [3] A. N. Elmachetou and P. Grigas. “Smart “Predict, then Optimize””. In: *Management Science* 68.1 (2022), pp. 9–26. DOI: 10.1287/mnsc.2020.3922. arXiv: 1710.08005.
- [4] HiGHS developers. *HiGHS: High-performance software for linear optimization*. Official project documentation. The experiment invokes HiGHS through SciPy. URL: <https://highs.dev/> (visited on 09/04/2026).
- [5] scikit-learn developers. *Ridge: scikit-learn 1.8.0 documentation*. 2026. URL: https://scikit-learn.org/1.8/modules/generated/sklearn.linear_model.Ridge.html (visited on 09/04/2026).
- [6] M. Mitchell, S. Wu, A. Zaldivar, P. Barnes, L. Vasserman, B. Hutchinson, E. Spitzer, I. D. Raji, and T. Gebru. “Model Cards for Model Reporting”. In: *Proceedings of the Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*. 2019, pp. 220–229. DOI: 10.1145/3287560.3287596. arXiv: 1810.03993.
- [7] G. C. Cawley and N. L. C. Talbot. “On Over-fitting in Model Selection and Subsequent Selection Bias in Performance Evaluation”. In: *Journal of Machine Learning Research* 11.70 (2010), pp. 2079–2107. URL: <https://jmlr.org/papers/v11/cawley10a.html>.
- [8] SciPy developers. *linprog(method='highs')*. Official documentation; execution pinned to SciPy 1.17.0. The live documentation may describe a later release. URL: <https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/optimize.linprog-highs.html> (visited on 09/04/2026).
- [9] K. Garifi, K. Baker, D. Christensen, and B. Touri. *Control of Energy Storage in Home Energy Management Systems: Non-Simultaneous Charging and Discharging Guarantees*. 2018. DOI: 10.48550/arXiv.1805.00100. arXiv: 1805.00100.
- [10] C. Dwork, V. Feldman, M. Hardt, T. Pitassi, O. Reingold, and A. Roth. *Generalization in Adaptive Data Analysis and Holdout Reuse*. 2015. DOI: 10.48550/arXiv.1506.02629. arXiv: 1506.02629.
- [11] National Institute of Standards and Technology. *Digital Signature Standard (DSS)*. FIPS 186-5. NIST, 2023. DOI: 10.6028/NIST.FIPS.186-5. URL: <https://csrc.nist.gov/pubs/fips/186-5/final>.
- [12] National Institute of Standards and Technology. *Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0)*. Tech. rep. AI 100-1. Cited as a lifecycle-risk framework, not a certification or statement of current mandatory law. NIST, 2023. DOI: 10.6028/NIST.AI.100-1.
- [13] NASA Goddard Space Flight Center. *Solar Irradiance Science*. URL: <https://earth.gsfc.nasa.gov/climate/projects/solar-irradiance/science> (visited on 09/04/2026).
- [14] National Institute of Standards and Technology. *CODATA Value: Stefan–Boltzmann Constant*. URL: <https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?sigma> (visited on 09/04/2026).

MONOGRAPHIE DE RECHERCHE / ÉDITION 2.0

HELIOS Ω

L'intelligence comme capital productif

Des décisions apprises
aux infrastructures cumulatives

Alpha prévision-planification / Succession signée
Preuves comparatives / Attribution du capital



8 320
journées synthétiques

12 / 12
réentraînements G2 positifs

A0
aucune commande externe

Logiciel exécuté. Preuves opérationnelles et financières synthétiques.
Aucun gain réalisé ni qualification indépendante de superintelligence.

Résumé

Une intelligence de mission utile devrait procurer un avantage sur une solution de rechange sérieuse, conserver les preuves nécessaires pour réexaminer cet avantage et distinguer amélioration opérationnelle et accumulation de capital. HELIOS Ω étudie cette séquence au moyen d'une expérience énergie-calcul effectivement exécutée, mais entièrement synthétique. Le produit SUCCESSOR Ω 16.1.0 R6, inchangé, conserve deux générations de mission natives signées; une extension distincte, développée côté client, apprend les prix de l'électricité et associe le prédicteur figé à un même répartiteur linéaire de 145 variables. Celui-ci respecte les contraintes de réseau, de stockage, de disponibilité des travaux et d'échéance. Aucune action externe n'est activée.

Douze essais appariés entraînent chacun deux générations sur de nouvelles cohortes de 96 jours, sélectionnent les modèles sur 32 jours de développement, puis les évaluent sur 192 nouveaux jours. Sept solutions génériques affrontent quatre régressions structurées informées par le simulateur à chaque ronde, soit 264 ajustements. La génération 1 gagne 11 comparaisons sur 12, mais l'intervalle de son Alpha moyen inclut zéro. La génération 2 gagne les douze, avec un Alpha annuel modélisé moyen de 10 970 293 \$ CA et un intervalle à 95% entre réajustements de [9 959 745 \$ CA, 11 980 840 \$ CA], à l'échelle supposée de 64 campus. Un défi supplémentaire de 512 jours appliqué à la composition G2 figée et prédésignée donne 11 199 341 \$ CA, avec un intervalle conditionnel par jours appariés de [9 895 126 \$ CA, 12 597 263 \$ CA], au-delà de la marge locale préalablement fixée de 2 000 000 \$ CA. Les 23 296 plans primaires et finaux satisfont aux conditions numériques contrôlées.

Un scénario de capital distinct, sur quarante ans et sans actualisation, conserve un contrefactuel Beta doté des mêmes actifs. Il produit 758 428 115 \$ CA de distributions supplémentaires et un campus opérationnel de plus, révélant la capacité de construction comme limite plutôt que d'attribuer toute l'entreprise au modèle. Une nouvelle exécution pour cette publication reproduit les 48 modèles sélectionnés, les coûts primaires par cas et le résultat final complet. La contribution est un exemple de système reproductible reliant décisions apprises, contraintes explicites, conservation des preuves et attribution rigoureuse. Les a priori informés par le simulateur, la garde des preuves contrôlée par l'auteur, les covariables futures exactes et l'économie stylisée excluent toute conclusion de gains réels, d'ASI spécialiste qualifiée indépendamment ou de préparation à la production.

Mots-clés : prédire puis optimiser; ordonnancement énergie-calcul; Alpha comparatif; intelligence de mission; succession signée; programmation linéaire; attribution du capital; reproductibilité.

Le contrat de lecture

Exécuté désigne un calcul réellement effectué. **Modélisé** désigne les conséquences d'hypothèses synthétiques déclarées. **Proposé** désigne une exigence future non exécutée. Sauf indication contraire, les montants sont en dollars canadiens. A0 signifie inspecter, évaluer, consigner et proposer—non commander un équipement ni passer un ordre.

HELIOS-TR-02, édition 2.0. Rapport technique préparé avec assistance de l'IA à partir de HELIOS-LAB 1.0.0. Aucun examen indépendant par les pairs, aucune évaluation indépendante du fournisseur et aucune qualification externe ne sont revendiqués. La conservation des sources et la préparation du rapport sont décrites à l'annexe I.

Note décisionnelle

POUR LES PROPRIÉTAIRES, DIRECTIONS TECHNIQUES ET COMITÉS D'ASSURANCE

L'institution conserve la mission, non une présomption de supériorité. L'expert retient un contrat d'entrée testé, des solutions concurrentes, des paramètres figés, des plans témoins et l'historique des remplacements. Le prédicteur reste remplaçable; sa prévision ne devient une proposition qu'après vérification numérique explicite.

Résultat décisionnel	Valeur modélisée ou nombre
Résultats G2 compétitifs positifs entre réajustements	12 / 12
Alpha annuel moyen G2 entre réajustements	10 970 293 \$ CA
Alpha annuel du modèle figé au défi final	11 199 341 \$ CA
Alpha final rapporté au coût annuel de Beta	0,735%
Borne inférieure conditionnelle finale	9 895 126 \$ CA
Distributions supplémentaires sur quarante ans	758 428 115 \$ CA
Capacité opérationnelle supplémentaire à quarante ans	1 campus / 50 MW

Pourquoi la comparaison compte. L'Alpha final se mesure par rapport au moins coûteux du processus historique et du Beta sélectionné en développement, non par rapport à l'inaction. Il retransche déjà 2 000 000 \$ CA de frais annuels supplémentaires. L'amélioration sur l'historique, l'amélioration sur l'ancêtre et l'Alpha compétitif sont des contrastes distincts; il ne faut pas les additionner.

Pourquoi le bilan physique compte. Les deux trajectoires commencent avec 22 400 000 000 \$ CA d'actifs productifs supposés. Beta atteint 307 campus; HELIOS en atteint 308. L'essentiel de la croissance provient des hypothèses commerciales communes, non de l'avantage d'intelligence. La trésorerie excédentaire ne se transforme pas instantanément en installations : les commandes sont plafonnées à huit campus par an et la mise en service exige deux ans.

Ce qui est véritablement entraîné. Le spécialiste énergétique est une régression ridge développée côté client, dotée de 43 variables transformées et de 44 paramètres ajustés, constante comprise. Les réseaux natifs de triage à six signaux sont également entraînés, mais ne produisent pas les économies énergétiques. L'optimiseur à 145 variables est un solveur, non un nouveau réseau neuronal entraîné.

La décision imputable

Conserver G2 comme **composition de recherche synthétique qualifiée localement**. Préserver le refus de promotion intercohortes de G1. Commander une étude en observation, supervisée séparément et fondée sur des données réelles autorisées, avant toute revendication de gains réels ou d'autorité conséquente.

Ce qu'ajoute cette édition. Un argument de regret décisionnel et un audit du défi figé; un atlas des preuves; vingt scénarios érosion-capacité; des diagnostics d'actualisation explicites; une nouvelle reproduction. Ces ajouts sont secondaires, non de nouveaux essais confirmatoires. La capsule originale, les modèles sélectionnés et le produit commercial restent inchangés.

Atlas des preuves

UNE COMPOSITION. DES EXIGENCES DE PREUVE DISTINCTES.

Le résultat à conserver

HELIOS est un spécialiste synthétique prévision–planification exécuté et qualifié localement. Son modèle, son problème d’optimisation, ses plans témoins et ses hypothèses de capital sont inspectables séparément. Une signature ne transforme pas un résultat numérique en conclusion institutionnelle plus forte.

Niveau	Ce qui est établi	Limite à préserver
Apprentissage	264 ajustements primaires ; deux générations natives entraînées séparément	A priori structuré informé par le simulateur connu ; aucune dominance universelle
Décision	23 296 plans primaires et finaux vérifiés ; référence rétrospective définie	Optimalité du problème prévu et modélisé, non d’une installation réelle
Comparaison	12/12 réajustements G2 positifs ; borne finale au-delà de la marge locale	Comparateurs finis sélectionnés en développement ; preuves contrôlées par l’auteur
Continuité	Filiation signée exacte, objets réouvrables et modules rejouables	Aucune propriété authentifiée indépendamment ni autorité héritée
Capital	Contrefactuel Beta aux mêmes actifs ; transitions annuelles complètes	Économie de service, persistance et capacité de construction hypothétiques
Autorité	Propositions locales A0 ; aucun connecteur de commande externe	Acceptation indépendante sur données réelles et intervention imputable à venir

L’édition 2 ajoute une interprétation, non une victoire révisée. Les modèles, données de défi, coûts et ZIP de simulation restent inchangés. Les ajouts comprennent un argument de regret décisionnel, un audit rétrospectif du défi figé, une grille de vingt scénarios érosion–capacité et un diagnostic d’actualisation explicitement partiel. Ces analyses secondaires de publication ne sont pas de nouveaux essais confirmatoires.

Parcours efficaces. Pour décider : la note et les sections 9, 11 et 12. Pour le système opérationnel : les sections 2–7. Pour l’assurance : l’annexe H et le rapport d’acceptation lisible par machine.

Diffusion. Le lot de publication contient l’article, les figures, les sources et les analyses dérivées. Le lot de recherche complet contient aussi le logiciel commercial sous licence. Publier le manuscrit n’accorde pas de droits de redistribution du logiciel.

Table des matières

Résumé	i
Note décisionnelle	ii
Atlas des preuves	iii
1 Un avantage opérationnel n'est pas encore une institution	1
2 Une composition de mission aux obligations distinctes	2
3 Mission, information et contrat physique	3
4 Données, ajustement et sélection	4
5 Le problème d'optimisation prévision-répartition	5
6 De l'erreur de prix au regret décisionnel	6
7 Preuves numériques et sémantique d'admission	7
8 Estimands, incertitude et protocole final	8
9 Résultats : un spécialiste utile, des échecs visibles	9
10 Un plan témoin et un refus conçu explicitement	11
11 De l'Alpha opérationnel au registre de capital	12
12 Que reste-t-il après érosion, frais et limites de réalisation ?	13
13 Succession, preuves et prochaine mission productive	16
14 Limites de validité et contrat d'acceptation sur données réelles	16
15 Conclusion	17
A Le générateur synthétique exact de prix	18
B Transformation des variables et spécification d'ajustement	19
C Tous les résultats des cohortes appariées	20
D Certificats de plan et témoin complet	20
E Transition exacte du capital et sensibilité	22
F Un horizon physique de ressources borné	24
G Reproduction et vérification de publication	24
H Index des preuves et identités exactes	26
I Provenance, préparation et distribution	27
J Calculs secondaires de l'édition 2	28
Références	30

Parcours de lecture

Décideurs : la note décisionnelle, les sections 9, 11–12 et la conclusion.

Lecteurs techniques : les sections 3–7 et les annexes A–E.

Responsables de l'assurance : les sections 13–14, l'annexe de reproduction et l'index des preuves.

1 Un avantage opérationnel n'est pas encore une institution

Un prédicteur devient économiquement intéressant lorsque ses erreurs modifient les décisions. Un processus décisionnel devient utile à l'institution lorsque ses objectifs, preuves, alternatives, conditions d'échec et limites d'autorisation restent inspectables après le remplacement du prédicteur. HELIOS Ω examine ces deux propositions dans un cadre énergie-calcul borné, indépendant d'un fournisseur particulier. Sa source empirique est la capsule livrée HELIOS-LAB 1.0.0, non un témoignage client ni le relevé d'une installation réelle [1].

La coopérative fictive Helios Infrastructure Cooperative exploite un portefeuille supposé de 64 campus. Le client technique entraîne un spécialiste du prix de l'électricité, insère ses prévisions dans le même répartiteur contraint que celui des politiques apprises concurrentes et évalue les plans aux prix synthétiques de règlement. Il pose ensuite une question distincte : si l'avantage opérationnel mesuré dans la simulation persistait, quel supplément de trésorerie et de capacité une règle de réinvestissement donnée produirait-elle par rapport à la même entreprise utilisant Beta ?

1.1 Trois questions de recherche

La question opérationnelle est de savoir si un spécialiste figé réduit le coût par rapport à une alternative sérieuse sélectionnée en développement, après frais supplémentaires. La question de continuité porte sur la conservation des preuves, de l'identité exacte du modèle et de la filiation de mission, sans héritage de preuve ni d'autorité. La question d'attribution demande quelle part du scénario de capital apparié provient de l'avantage opérationnel plutôt que des actifs préexistants et des hypothèses communes.

L'étude répond localement : G2 gagne de manière répétée dans le simulateur ; les objets natifs conservent une filiation signée ; le modèle de capital expose les résultats supplémentaires, non ceux de l'entreprise entière. Ces résultats sont délibérément différents. L'étude n'isole pas un rendement monétaire causal de la couche institutionnelle et n'établit pas que le simulateur connu ressemble suffisamment à un marché électrique réel pour justifier un déploiement.

1.2 Contribution et travaux antérieurs

L'ordonnancement de centres de données colocalisés avec des renouvelables associe déjà calendrier de calcul, utilisation de l'énergie renouvelable et approvisionnement ; Li, Tong et Mount évaluent un tel système sur des traces réelles [2]. HELIOS utilise un simulateur conçu localement, beaucoup plus petit, et ne reproduit aucun gain empirique de cet article. Sa décomposition prévision-optimisation se rattache aux travaux *predict-then-optimize* [3], mais il n'utilise pas l'apprentissage SPO ni la différentiation à travers le solveur. L'ajustement ridge minimise l'erreur quadratique de prix ; la sélection minimise ensuite le coût réglé des plans de développement.

Des mécanismes établis assurent une grande partie du travail : HiGHS fournit l'optimisation linéaire, scikit-learn les régressions et ensembles d'arbres, et la documentation de modèle le contexte interprétatif [4, 5, 6]. La contribution est leur composition inspectable avec évaluation répétée par cohortes, succession de mission signée et registre de capital contrefactuel. Aucun nouvel algorithme fondamental d'apprentissage ni primitive cryptographique sans précédent n'est revendiqué.

2 Une composition de mission aux obligations distinctes

Pour la génération g , écrivons la composition opérationnelle évaluée

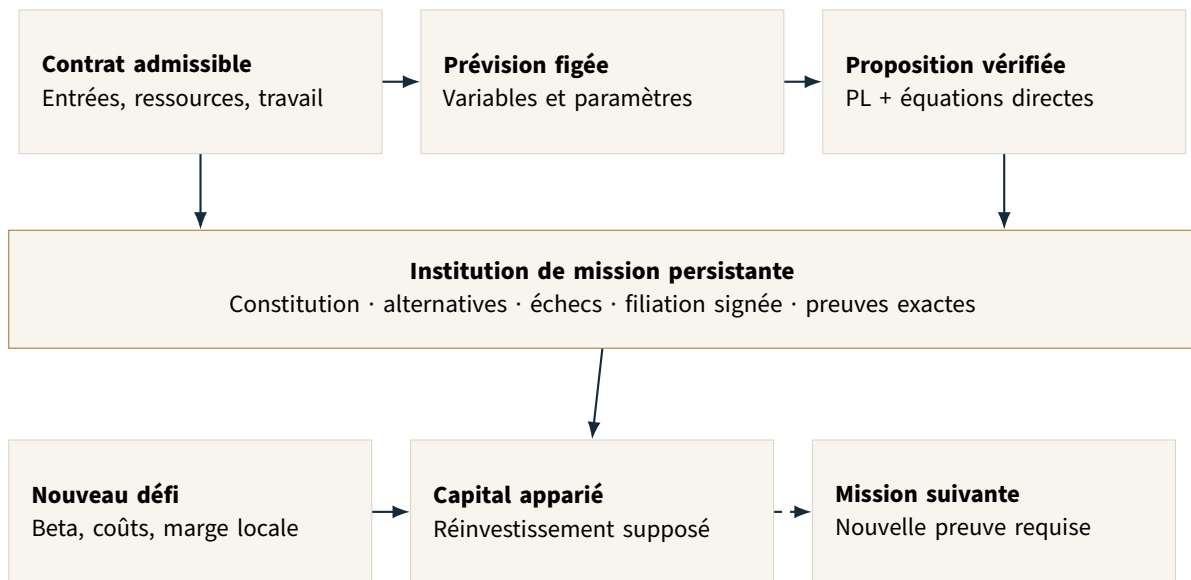
$$C_g = (X, \phi_g, \theta_g, \mathcal{F}, \mathcal{V}, \mathcal{K}, \mathcal{A}), \quad (1)$$

où X est le contrat d'entrée, ϕ_g la transformation des variables, θ_g les paramètres ajustés, $\mathcal{F}$ l'ensemble des plans réalisables, $\mathcal{V}$ le vérificateur, $\mathcal{K}$ le registre des coûts et $\mathcal{A}$ la limite d'effets A0. L'institution conservée s'écrit plus largement

$$\mathcal{I}_g = (m_g, D_g, \{C_{g,j}\}_j, E_g, \ell_g, a_g), \quad (2)$$

avec mission m_g , données admises D_g , compositions concurrentes, preuves E_g , référence ancestrale ℓ_g et état d'autorisation a_g . Ces définitions décrivent des artefacts locaux, non une organisation autonome constituée juridiquement.

01 / COMPOSITION OPÉRATIONNELLE — EXÉCUTÉE



02 / LE CAPITAL EST MODÉLISÉ. LA MISSION SUIVANTE EST PROPOSÉE. A0 N'IMPLIQUE AUCUNE COMMANDE.

FIGURE 1. L'institution conservée et sa composition opérationnelle remplaçable. Qualification numérique, conservation locale des preuves et future admission imputable sont des obligations distinctes. Le lien en pointillés désigne une prochaine mission proposée, non un investissement autonome.

Le produit commercial et l'extension ont des rôles différents. SUCCESSOR Ω 16.1.0 crée deux missions natives de triage de 400 lignes, exécute trois candidats par génération pour un total de 54 000 mises à jour répétées, signe les objets sauvegardés et lie G2 à l'enveloppe exacte de son prédécesseur. L'extension du client entraîne le prédicteur de prix à dix entrées. Le programme linéaire planifie énergie et travaux; un vérificateur codé séparément contrôle les équations. Seule la composition prévision-répartition reçoit l'avantage énergétique synthétique mesuré. [E01, E08]

Le contrôle n'est pas la propriété illimitée de la plateforme. La plateforme conserve sa licence d'origine. Les dossiers de mission, ajouts de recherche et paramètres exportés sont conservés selon leurs droits applicables. L'article ne change aucune licence. Une identité de propriétaire autodéclarée n'est pas un titre juridique authentifié extérieurement.

3 Mission, information et contrat physique

TABLE 1. Contrat supposé par campus. Chaque valeur est une entrée de simulation, non une caractéristique d'actif mesurée.

Grandeur	Valeur	Grandeur	Valeur
Plafond de calcul flexible	50 MW	Travail flexible quotidien	600 MWh
Charge de base	15 MW	Puissance solaire nominale	40 MW
Plafond d'importation	70 MW	Énergie de la batterie	80 MWh
Limite de charge/décharge	20 MW	Rendement dans chaque sens	95%
Stockage initial et final	40 MWh	Pas temporel	1 heure
Coût de débit en charge	2 \$ CA/MWh	Coût de débit en décharge	8 \$ CA/MWh

Les travaux respectent des limites de disponibilité et des échéances cumulatives intermédiaires. Le calcul flexible est un indicateur énergétique : 600 MWh par jour ne constituent pas un nombre mesuré de tâches, de FLOPs ou de découvertes scientifiques. Les 3,2 GW initiaux représentent la capacité de charge flexible installée des 64 campus, non une utilisation continue. La charge de base ajoute 360 MWh par campus-jour avant pertes de stockage.

3.1 Ce qui est connu avant la planification

Chaque planificateur appris reçoit les mêmes dix covariables synthétiques : quatre termes de Fourier horaires, température, vent, combustible, demande, indisponibilité et région normalisés. Ces covariables du lendemain, le profil solaire et le contrat de travaux sont supposés connus exactement. Seuls les prix de règlement contiennent des innovations cachées au prédicteur. Cette information particulièrement favorable est une hypothèse de modélisation ; elle ne constitue pas une chaîne de prévision validée de la météo, de la production renouvelable ou de la demande.

G2 modifie la fonction de prix conditionnelle, notamment les signes et coefficients de rareté. Elle ne modifie *ni* le générateur marginal de covariables *ni* le contrat de travaux. L'exemple natif de triage est un jeu distinct à six signaux. La simulation physique ne contient ni réseau de flux de puissance, couplage thermique, engagement de groupes, état de vieillissement de batterie, panne matérielle, latence de file d'attente, règle d'enchères ou recours sous production solaire incertaine. [E02]

3.2 Les effets possibles d'une étiquette

Le parcours livré écrit une proposition locale de plan. Il ne possède aucun connecteur vers un équipement, un marché, un paiement ou une écriture d'entreprise. A0 est donc une limite locale concrète d'effets, non l'autorisation d'exécuter une expérience physique réversible. Un acteur en aval aurait besoin d'une intégration et d'un mécanisme d'application autorisés séparément pour affecter une installation.

4 Données, ajustement et sélection

4.1 Répéter la chaîne, non seulement noter un ajustement unique

Chacun des douze essais crée deux générations. Une génération reçoit 96 jours d'entraînement, 32 jours de développement et 192 jours de défi après gel. Chaque jour comprend 24 lignes horaires : la cohorte d'ajustement compte donc 2 304 observations de prix, mais seulement 96 tirages synthétiques indépendants de jours. Les covariables propres au jour et une innovation quotidienne partagée créent une dépendance intrajournalière.

TABLE 2. Allocation des données et de l'exécution. Les lignes de triage natif et les appels répétés au solveur ne sont pas des jours énergétiques supplémentaires.

Composante	Jours	Lignes horaires	Rôle
24 cohortes d'entraînement	2 304	55 296	Ajuster les paramètres
24 cohortes de développement	768	18 432	Sélection dans chaque famille
24 défis primaires	4 608	110 592	Comparer les politiques figées
Défi G2 supplémentaire	512	12 288	Composition et marge fixes
Quatre suites de contrainte	128	3 072	Conformité aux contraintes
Total	8 320	199 680	Cas distincts générés

Les graines suivent une formule documentée ; les identifiants sont disjoints. Les empreintes de source et de modèle sont consignées avant génération des défis. Trois essais de mise au point antérieurs, sur les graines 90 et 91, sont conservés. La transformation des variables et le générateur de rareté ont été affinés ensemble avant la campagne primaire. Cette divulgation compte : des entrées communes n'impliquent pas les mêmes connaissances structurelles a priori. Les protocoles locaux ne constituent ni horodatages indépendants ni garde aveugle des preuves. [E01-E03]

4.2 Familles de candidats

Les sept candidats Beta comprennent une régression ridge sur variables brutes standardisées, deux régressions ridge polynomiales de degré deux, trois ensembles d'arbres à gradient sur histogrammes et un régresseur à arbres extrêmement aléatoires. Quatre régressions ridge structurées utilisent la transformation rareté-interactions déclarée et les régularisations $\{.01, .1, 1, 10\}$. Les 24 rondes ajustent donc $24 \times 11 = 264$ candidats. Les modèles sélectionnés ne sont pas réajustés sur les lignes de développement.

Le spécialiste transforme dix covariables en 43 variables, les standardise avec les seules statistiques d'entraînement et ajuste

$$(\hat{\beta}_0, \hat{\beta}) = \arg \min_{b_0, b} \sum_{i \in D_{\text{train}}} (p_i - b_0 - z_i^\top b)^2 + \lambda \|b\|_2^2. \quad (3)$$

Il comporte donc 44 paramètres de régression ajustés, plus les métadonnées de normalisation et de transformation. Les prévisions sont bornées à [5,600] dollars canadiens/MWh. L'annexe B précise les régularisations choisies et tous les hyperparamètres concurrents. La régression ridge est une méthode établie de moindres carrés régularisés, non un mécanisme autonome de découverte scientifique [5].

4.3 Sélectionner sur la décision, conserver le diagnostic prédictif

Dans chaque famille, la règle minimise le *coût réglé moyen des plans de développement*. L'erreur quadratique moyenne de prévision (RMSE) est conservée, mais n'est pas le critère de sélection. Deux prévisions d'exactitude comparable peuvent produire des décisions très différentes. L'ajustement utilise toujours l'erreur quadratique : sélectionner sur le coût en aval ne transforme pas l'entraînement en apprentissage décisionnel de bout en bout [3].

Les jeux de développement finis créent une incertitude de sélection, même lorsque les défis sont tenus à l'écart [7]. Les réajustements répétés en examinent une partie, non tous les modèles et marchés possibles. « Beta » désigne l'alternative sélectionnée en développement dans la grille finie déclarée. Il ne désigne ni le meilleur spécialiste externe ni le meilleur candidat choisi a posteriori sur le défi.

5 Le problème d'optimisation prévision-répartition

Pour les heures $h = 0, \dots, 23$, notons g_h l'importation, w_h la puissance de travail flexible, c_h la charge, d_h la décharge, u_h l'écrêtement solaire et b_h l'énergie stockée aux frontières horaires. Avec solaire disponible s_h , prix prévu $\hat{p}_h$ et pas d'une heure, on résout

$$\min_{g,w,c,d,b,u} \sum_{h=0}^{23} (\hat{p}_h g_h + 2c_h + 8d_h), \quad (4)$$

$$g_h + s_h - u_h + d_h = 15 + w_h + c_h, \quad (5)$$

$$b_{h+1} = b_h + .95c_h - d_h/.95, \quad (6)$$

$$\sum_{h=0}^{23} w_h = 600. \quad (7)$$

Les bornes imposent $0 \leq g_h \leq 70$, $0 \leq w_h \leq 50$, $0 \leq c_h, d_h \leq 20$, $0 \leq b_h \leq 80$, $0 \leq u_h \leq s_h$ et $b_0 = b_{24} = 40$.

Les travaux dus aux heures 6, 12 et 18 valent respectivement 120, 260 et 420 MWh. Pour $t = 1, \dots, 23$, la disponibilité impose

$$\sum_{h=0}^{t-1} w_h \leq \min\{600, 600(.2 + t/30)\}. \quad (8)$$

Le programme comporte 145 variables, 49 égalités et 26 inégalités supplémentaires, plus les bornes. HiGHS est appelé par linprog de SciPy, avec prétraitement activé [4, 8]. Le processus historique utilise le même modèle de ressources, mais fixe $w_h = 25$ MW et fournit une estimation tarifaire sinusoïdale non entraînée. Son ensemble de décisions réalisables est plus étroit. Une amélioration sur l'historique combine donc flexibilité et prévision ; la comparaison à Beta est celle entre politiques apprises à possibilités égales.

5.1 Le règlement n'est pas l'objectif prévu

Après planification, l'évaluateur calcule

$$\ell_j(\pi) = \sum_h (p_{j,h} g_{j,h}^\pi + 2c_{j,h}^\pi + 8d_{j,h}^\pi) \quad (9)$$

aux prix synthétiques de règlement p . Le planificateur ne consomme jamais ces prix dans son parcours d'entrée opérationnel. Une politique à information parfaite résout le même problème en remplaçant $\hat{p}$ par p , fournissant une référence informationnelle de coût inférieur. Elle n'est pas déployable et n'appartient pas à l'ensemble compétitif Beta.

5.2 La complémentarité de batterie est contrôlée, non encodée

Le programme continu n'inclut pas la restriction non convexe $c_h d_h = 0$. L'implémentation contrôle plutôt $\max_h \min(c_h, d_h) \leq 10^{-6}$ sur chaque plan retourné et rejette toute violation. Tous les plans primaires et finaux publiés satisfont à cette condition. Ce résultat concerne l'expérience spécifiée, à prix positifs et écrêtement libre ; il ne garantit rien d'universel pour des prix négatifs ou d'autres contraintes. La non-simultanéité est une question substantielle de formulation du stockage [9].

6 De l'erreur de prix au regret décisionnel

Un certificat d'optimalité numérique porte sur l'objectif prévu. La question économique pertinente est le coût de la décision induite par la prévision lorsqu'elle est réglée au prix effectif. Cette distinction est centrale aux méthodes prédire–optimiser [3] ; la spécialisation élémentaire suivante la rend vérifiable pour HELIOS.

Soit $z(\hat{p})$ un plan réalisable obtenu pour la prévision $\hat{p}$, et $z^*(p)$ un minimiseur du coût de règlement sur le même ensemble réalisable. Écrivons

$$L(p, z) = p^\top g(z) + k(z), \quad k(z) = 2 \sum_h c_h + 8 \sum_h d_h. \quad (10)$$

Le regret décisionnel est $\mathcal{R} = L(p, z(\hat{p})) - L(p, z^*(p))$. Il exclut les frais de politique annuels, qui relèvent d'une comparaison distincte.

Proposition 1 (L'erreur de prévision est médiée par la décision). *Supposons les deux plans réalisables pour un même problème borné non vide, et le plan prévu à au plus ε de son optimum prévu. Si $0 \leq g_h \leq \bar{G}$, alors*

$$0 \leq \mathcal{R} \leq \sum_h |p_h - \hat{p}_h| |g_h(z(\hat{p})) - g_h(z^*(p))| + \varepsilon \quad (11)$$

$$\leq \bar{G} \|p - \hat{p}\|_1 + \varepsilon. \quad (12)$$

Démonstration. Posons $\Delta g = g(z(\hat{p})) - g(z^*(p))$. Ajouter et retrancher les coûts prévus donne l'identité exacte

$$\mathcal{R} = (p - \hat{p})^\top \Delta g + \underbrace{L(\hat{p}, z(\hat{p})) - L(\hat{p}, z^*(p))}_{\leq \varepsilon}. \quad (13)$$

La quasi-optimalité prévue borne le terme souligné ; les valeurs absolues et $|\Delta g_h| \leq \bar{G}$ donnent les bornes supérieures. L'optimalité au règlement donne la borne inférieure. $\square$

Il s'agit d'un argument classique de comparaison, non d'un nouveau théorème général d'apprentissage. La borne fine exige un plan rétrospectif et ne constitue donc pas une garantie disponible avant l'observation des prix. Aucune borne ne démontre la qualité des prévisions ou l'adéquation physique. Un écart primal–dual en virgule flottante n'est pas automatiquement une borne rigoureuse ε sans contrôle des erreurs de réalisabilité primale et duale.

6.1 Audit secondaire du défi figé

L'édition 2 réévalue l'identité et les inégalités sur les 512 jours inchangés du défi final. Aucun modèle n'est ajusté ou sélectionné de nouveau pour cette analyse. Avec une tolérance numérique de 10^{-5} CAD et $\bar{G} = 70$ MW, les 1 024 contrôles politique-jour respectent les bornes. L'écart maximal de l'identité est inférieur à 6×10^{-11} CAD. Il s'agit d'une conformité numérique, non d'une certification par arithmétique d'intervalles. [S01]

TABLE 3. Erreur et coût décisionnel au défi figé. Les deux dernières colonnes sont des moyennes rétrospectives en CAD par campus-jour, hors frais annuels de politique.

Politique	RMSE du prix	Regret	Borne (11)
Beta sélectionné	12,914	877,799	2 528,302
HELIOS G2	4,076	312,759	734,908

La RMSE est exprimée en CAD/MWh. La borne fondée sur le plafond d'importation vaut en moyenne 15 206,309 \$ CA pour Beta et 5 289,935 \$ CA pour HELIOS. Son caractère peu serré est instructif : une norme d'erreur ne suffit pas à révéler les décisions insensibles aux erreurs, ni les petits écarts qui franchissent une frontière décisionnelle importante. La perte G1 T07 demeure un avertissement concret contre la sélection fondée seulement sur la RMSE.

Une moyenne rentable ne promet pas un gain chaque jour

Avant les frais fixes, HELIOS bat Beta sur 463 des 512 jours finaux, égale Beta sur deux et perd sur 47, avec un seuil d'égalité de 10^{-6} CAD. L'avantage quotidien moyen est 565,04 \$ CA ; la médiane est 396,45 \$ CA. L'étendue observée va de -481,94 \$ CA à 5 512,35 \$ CA. Ce sont des descriptions de cet échantillon synthétique, non des bornes des pertes futures.

7 Preuves numériques et sémantique d'admission

7.1 Deux vérificateurs complémentaires

Le certificat matriciel recalcule résidus d'égalité, dépassements d'inégalités et de bornes, non-simultanéité, signes duaux, stationnarité et écart primal-dual. La tolérance de faisabilité est 10^{-6} ; celle de stationnarité duale, de signe et d'écart absolu est 10^{-5} . Une deuxième implémentation contrôle directement équilibre de puissance, dynamique du stockage, échéances et bornes, sans réutiliser les matrices du programme. Elle partage les constantes de capacité et l'auteur : il s'agit d'une séparation d'implémentation, non d'un examen institutionnel indépendant.

Proposition 2 (Portée d'un certificat de programmation linéaire). *Pour un point primal exactement réalisable et des multiplicateurs duaux ayant les signes requis et une stationnarité exacte, un écart d'objectif primal-dual nul établit l'optimalité pour ce programme. Il n'établit ni l'exactitude de sa prévision ni l'adéquation de son modèle physique.*

Démonstration. La dualité faible borne inférieurement tout coût primal réalisable par un objectif dual réalisable. L'égalité des objectifs conservés ferme cette borne. Remplacer la prévision, l'ensemble réalisable ou l'interprétation physique change le problème auquel s'applique la conclusion. $\square$

Les certificats en virgule flottante approchent ces conditions aux tolérances déclarées. Ce ne sont ni des preuves en arithmétique d'intervalles ni des certificats cyberphysiques validés. Le plus grand écart primaire enregistré vaut 5.821×10^{-11} dollar canadien; le maximum final vaut 4.366×10^{-11} . [E04, E06]

7.2 Une séquence opérationnelle explicite

Algorithme 1 — Proposition locale et admission de recherche

1. Valider le contrat des dix covariables et l'identité du modèle figé.
2. Calculer la prévision figée; construire le problème de ressources déclaré.
3. Résoudre le programme; refuser les échecs et prédicats numériques non satisfaits.
4. Écrire la proposition A0, les empreintes d'entrée et de modèle, la prévision, le plan et les contrôles.
5. Dans l'évaluateur distinct, régler aux prix synthétiques tenus à l'écart.
6. Comparer aux alternatives et à la marge pratique prédéclarées.
7. Consigner la qualification de recherche sans autoriser d'effet externe.

Le prédicat local d'admission n'accepte qu'une demande A0, une liste d'actions externes vide et la qualification de recherche synthétique déclarée. Ce n'est pas un service distant sécurisé d'autorisation. Pouvoir modifier un fichier JSON local ne crée aucune autorité légitime de production.

8 Estimands, incertitude et protocole final

Avec $M = 64$ campus et $D = 365$ jours d'exploitation, définissons

$$C(\pi) = MD \bar{\ell}(\pi) + F_{\pi}, \quad (14)$$

$$\alpha(\pi_H) = \min\{C(\pi_I), C(\pi_B)\} - C(\pi_H). \quad (15)$$

Les provisions annuelles fixes sont 300 000 \$ CA pour l'historique, 1 000 000 \$ CA pour Beta et 3 000 000 \$ CA pour HELIOS et son ancêtre. La référence à information parfaite reçoit les mêmes frais que HELIOS dans la comparaison publiée. Ce sont des entrées comptables déclarées, non des coûts de possession mesurés ou des devis. Le changement d'échelle est linéaire; l'expérience ne simule ni 64 campus corrélés, ni rétroaction de congestion, ni impact de marché.

8.1 Deux questions d'incertitude

Pour les douze réajustements appariés générés indépendamment, le rapport utilise un intervalle de Student autour de l'Alpha moyen avec 11 degrés de liberté. Il renseigne la variation de la chaîne entre tirages du même simulateur. Il suppose que les résumés d'essai constituent un échantillon approprié; il ne s'agit pas d'une garantie sans hypothèse de distribution. La valeur extrême G1 est conservée.

Dans un défi à politiques ajustées fixes, des jours entiers sont rééchantillonnés avec remise. Les mêmes indices de jours s'appliquent à chaque politique, préservant la structure d'innovation sur 24 heures et la comparaison appariée. À chaque tirage, la référence la moins coûteuse est recalculée. Les intervalles primaires utilisent 2 000 tirages; l'intervalle final en utilise 4 000. Ces intervalles percentiles conditionnels ne sont pas des garanties simultanées sur une campagne de recherche et n'incluent pas l'incertitude des coûts, des règles de marché ou de la provenance des entrées.

8.2 Une confirmation supplémentaire correctement qualifiée

Après analyse des cohortes, un protocole local distinct fige le premier modèle G2 prédésigné, les sources et les identités concurrentes, avant de générer 512 nouveaux jours. Il impose une marge pratique de 2 000 000 \$ CA/an. La règle exige tous les contrôles et une borne inférieure supérieure à cette marge. Il s'agit d'un nouveau défi supplémentaire, non d'un préenregistrement initial indépendant : l'auteur connaissait déjà les résultats par cohorte et le simulateur. La distinction entre recherche adaptative et confirmation protégée reste importante [10]. [E05]

9 Résultats : un spécialiste utile, des échecs visibles

9.1 Résultats des cohortes répétées

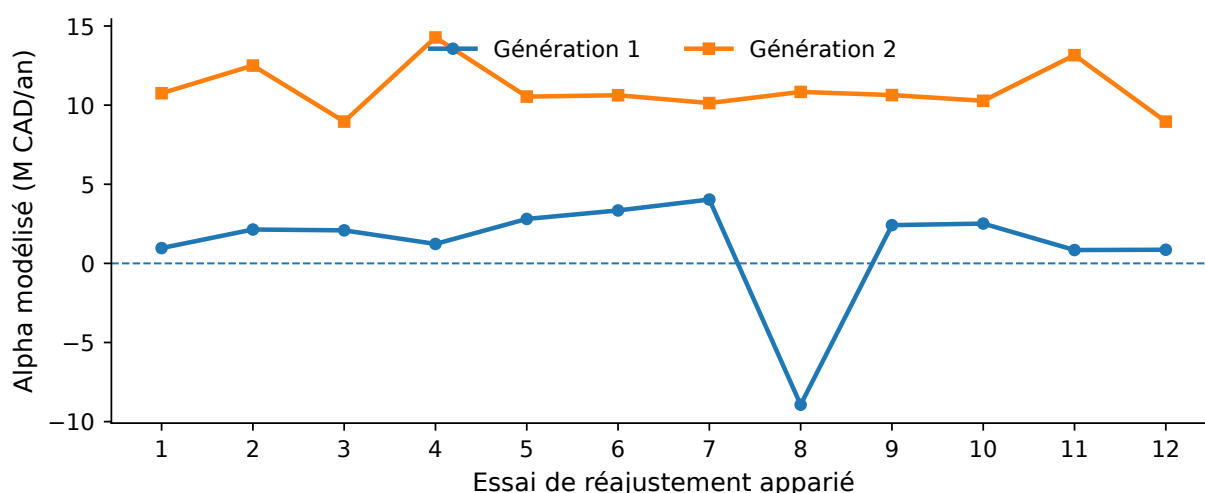


FIGURE 2. Alpha compétitif des douze essais appariés. Le résultat négatif T07 de G1 est conservé. G2 gagne les douze sous le simulateur et les frais annuels fixés; cela ne garantit pas un taux de victoire dans une population réelle.

G1 produit un Alpha moyen de 1 192 433 \$ CA, avec intervalle $[-932\,906\ \$\text{CA}, 3\,317\,773\ \$\text{CA}]$. Elle gagne 11 essais sur 12, mais T07 perd 8 933 481 \$ CA. Sa promotion intercohortes est donc refusée. G2 produit un Alpha moyen de 10 970 293 \$ CA, avec intervalle $[9\,959\,745\ \$\text{CA}, 11\,980\,840\ \$\text{CA}]$, et une réussite locale de recherche synthétique dans les douze comparaisons. L'annexe C conserve le registre complet des 24 exécutions.

Un contre-exemple G1 distingue exactitude prédictive et valeur décisionnelle. Dans T07, la RMSE moyenne par jour du spécialiste vaut 6,224 dollars canadiens/MWh contre 8,412 pour Beta, mais son coût réglé est supérieur. Une moindre erreur moyenne de prix ne garantit pas un meilleur ordonnancement. Ni suppression de la valeur extrême ni choix rétrospectif du meilleur essai ne corrige ce résultat. [E03, E04]

9.2 Le défi figé de 512 jours

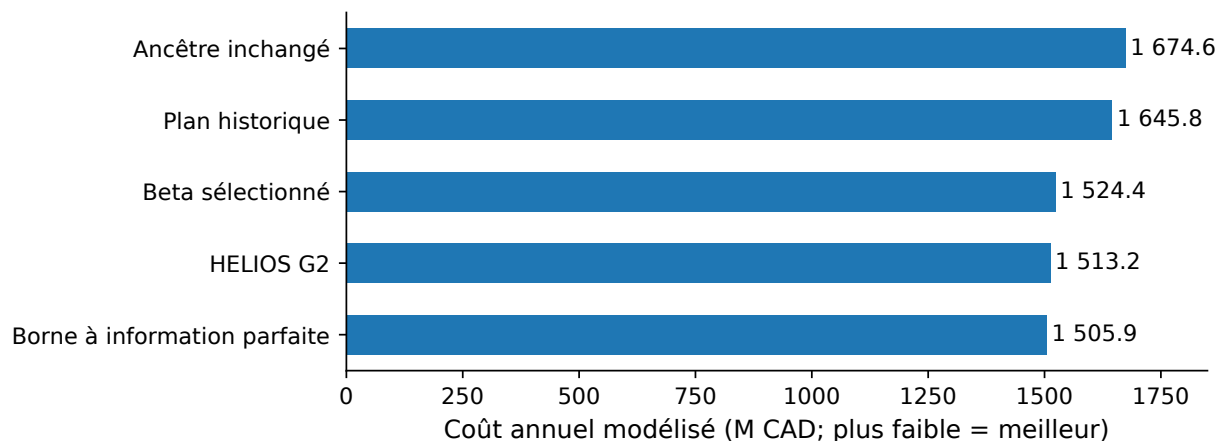


FIGURE 3. Coûts annualisés du défi final pour les 64 campus supposés. Un coût inférieur est préférable. L'information parfaite constitue une borne ; l'historique dispose d'un ensemble de décisions plus étroit. La comparaison pratique oppose HELIOS au Beta sélectionné en développement.

HELIOS coûte 1 513 187 858 \$ CA/an contre 1 524 387 199 \$ CA pour Beta, soit un Alpha de 11 199 341 \$ CA. L'intervalle conditionnel est [9 895 126 \$ CA, 12 597 263 \$ CA], au-dessus de la marge locale. L'avantage représente environ 0,735% du coût annuel énergie-politique de Beta. Une faible amélioration relative est précieuse à cette échelle supposée ; ce n'est pas une découverte multipliant l'efficacité par un ordre de grandeur.

Le contraste annualisé avec l'historique vaut 132 564 553 \$ CA ; avec l'ancêtre inchangé, 161 423 195 \$ CA. Il ne faut pas les additionner à l'Alpha compétitif. HELIOS reste 7 306 054 \$ CA/an au-dessus du coût à information parfaite. L'ancêtre et le successeur énergétiques sont tous deux ajustés à neuf dans leur régime respectif ; le résultat de succession est une adaptation par réentraînement, non un héritage de poids neuronaux. [E06]

9.3 Analyse secondaire du seuil de rentabilité

Au défi final, Beta moins HELIOS donne une économie brute moyenne de règlement de 565,040 277 \$ CA par campus-jour. Pour une fraction commune de réalisation q et M campus, un calcul explicitement propre à la publication donne

$$\alpha(M, q) = 365Mq(565.040277) - 2\,000\,000. \quad (16)$$

À $q = 1$, le seuil algébrique est de 9,6975 campus ; à $M = 64$, il est $q = 0.151523$. Ce sont des seuils dans un registre d'hypothèses, non des estimations commerciales ou d'investissement validées. Tout coût d'intégration ou d'assurance supplémentaire doit être soustrait. Le modèle inchangé de quarante ans utilise l'avantage quotidien *moyen des douze réajustements*, 555,235 126 dollars canadiens, et non cette estimation ponctuelle finale.

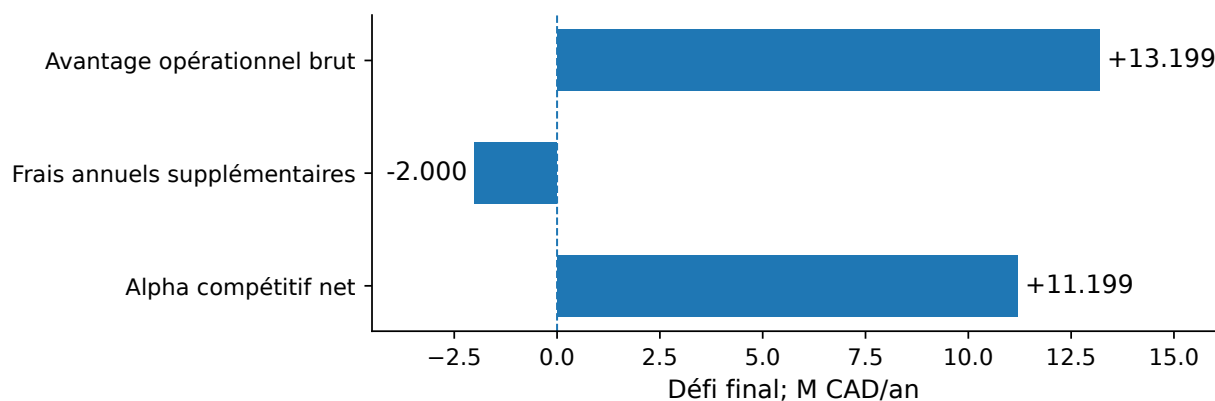


FIGURE 4. De l'avantage énergétique brut à l'Alpha compétitif net sur le défi final inchangé. L'annualisation suppose 64 campus; l'écart de frais de deux millions de dollars est retranché une seule fois.

10 Un plan témoin et un refus conçu explicitement

Le témoin retenu est le premier jour du défi T00_G2, non celui du gain maximal. Sa prévision apprise conduit à un plan réalisable achevant 600 MWh et restaurant le stockage à 40 MWh. Le règlement coûte 81 334,22 \$ CA pour HELIOS contre 82 166,13 \$ CA pour Beta, soit 831,91 \$ CA de différence pour ce jour et ce campus. HELIOS importe légèrement plus d'électricité : c'est un avantage de calendrier et de coût, non une preuve d'efficacité énergétique physique. Ce témoin égale fortuitement le coût à information parfaite; le défi complet ne l'égale pas.

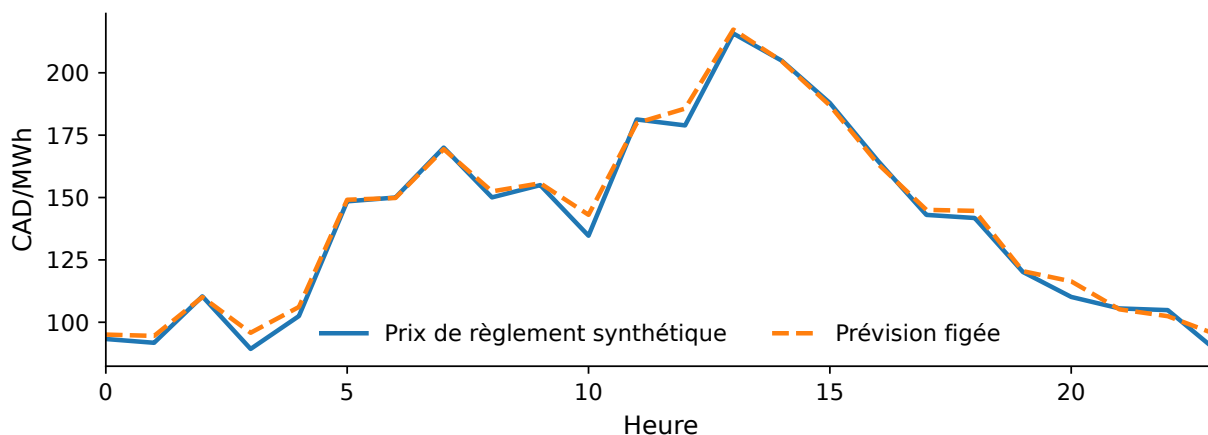


FIGURE 5. Prévision figée et prix synthétiques de règlement du témoin. L'évaluateur reçoit les prix après planification; la commande de proposition ne consomme aucune série de règlement.

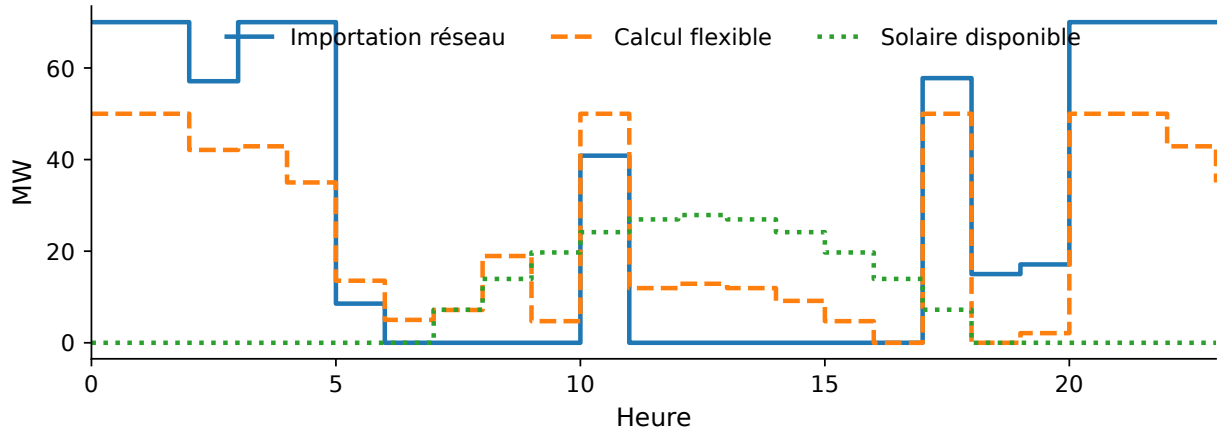


FIGURE 6. Le même témoin : importations, travail flexible et solaire disponible. Il s'agit de valeurs simulées à pas horaire, non de télémétrie. L'état de batterie et le plan complet sont conservés séparément.

Quatre suites de contrainte postérieures à la campagne primaire utilisent chacune 32 nouveaux jours. Un plafond réseau de 40 MW, une batterie de 5 MW/40 MWh et l'absence de solaire produisent des plans alternatifs réalisables. Un plafond d'importation de 5 MW conduit au refus des 32 propositions. À stockage initial et final égal, importation et solaire disponible ne peuvent fournir les 960 MWh prescrits de base et de travaux sous cette limite. Cette contradiction énergétique justifie le refus ; l'enveloppe logicielle étiquette cependant toute absence de réussite du solveur INFEASIBLE, sans distinguer tous les échecs numériques ni fournir de certificat de Farkas. [E07]

Les 198 validations supplémentaires couvrent rejet d'entrées hors domaine, NaN, plans altérés, travail inventé, création d'énergie stockée, prélèvement sur l'état terminal et demandes d'effets inadmissibles. Leur réussite établit certaines propriétés locales du logiciel. Elle ne certifie pas une batterie réelle, ne garantit pas des prévisions fiables et n'exclut pas des observations falsifiées malicieusement.

11 De l'Alpha opérationnel au registre de capital

11.1 Conserver la même entreprise de chaque côté

Le modèle de capital distinct commence les deux trajectoires avec 64 campus à 350 000 000 \$ CA chacun, soit 22 400 000 000 \$ CA d'actifs productifs supposés. La contribution du service vaut 400 \$ CA par MWh de travail achevé avant énergie et frais fixes ; personnel et entretien valent 12 000 000 \$ CA par campus-an ; la provision de remplacement vaut 8% du coût initial, soit 28 000 000 \$ CA par campus-an. Ce sont des hypothèses, non des estimations de marché.

Notons n_t les campus en service, e_π le coût énergétique quotidien moyen et F_π les frais de politique. La trésorerie opérationnelle annuelle est

$$O_t(\pi) = n_t[600 \cdot 365 \cdot 400 - 365e_\pi - 12\,000\,000 - .08 \cdot 350\,000\,000] - F_\pi. \quad (17)$$

Si elle est positive, 40% sont distribués et 60% conservés. Les pertes consomment d'abord la trésorerie ; l'implémentation lève une erreur si un financement externe serait nécessaire. Aucune capacité d'endettement n'est inventée. Un délai de construction de deux ans, un plafond de demande et huit commandes maximales de campus par an limitent l'expansion.

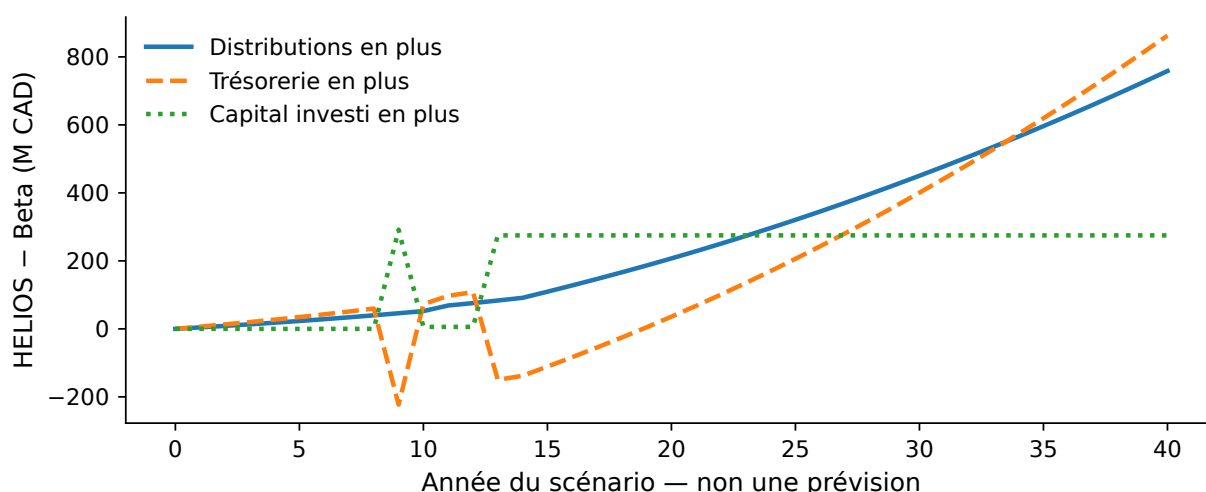


FIGURE 7. Comptes de capital appariés, HELIOS moins Beta. Le scénario utilise les coûts énergétiques moyens G2, des hypothèses fixes de contribution et de remplacement, sans actualisation. Ces comptes distincts ne sont pas des mesures additives de valeur d'entreprise.

11.2 Le résultat est supplémentaire, non celui de toute l'entreprise

À quarante ans, HELIOS compte 758 428 115 \$ CA de distributions cumulées supplémentaires, 862 648 103 \$ CA de trésorerie de réinvestissement supplémentaire et 274 994 071 \$ CA de capital investi cumulé supplémentaire. Elle exploite 308 campus contre 307 pour Beta, soit 15,40 contre 15,35 GW de charge flexible. Le capital investi cumulé inclut les actifs initiaux et les projets payés, même non encore mis en service; ce n'est pas une valeur de marché terminale. [E10]

Le plafond de huit commandes finit par devenir contraignant. La trésorerie supplémentaire s'accumule plus vite qu'elle ne se convertit en installations. Cela suggère une future mission de mise en service ou de construction, mais le prédictor de prix ne la résout pas. À 50% de réalisation de l'avantage énergétique brut supposé, les distributions supplémentaires tombent à 463 428 115 \$ CA; sans avantage brut, elles deviennent -32 000 000 \$ CA, en raison des frais de politique supplémentaires.

Aucun impôt, levier financier, actualisation, intérêt sur trésorerie, obsolescence technique, prix électrique endogène ou érosion concurrentielle n'est modélisé. La contribution de service future et l'économie énergétique moyenne G2 restent constantes. Le scénario démontre une comptabilité transparente sous ces hypothèses, non la capacité d'un achat logiciel peu coûteux à créer une entreprise d'infrastructures à partir de rien.

12 Que reste-t-il après érosion, frais et limites de réalisation ?

Un avantage constant pendant quarante ans est une hypothèse exigeante. L'édition 2 ajoute donc une analyse de sensibilité *secondaire*, à preuves fixes. Elle ne change pas le modèle retenu et ne fournit aucun nouvel échantillon de performance. Elle expose plutôt les conditions économiques qu'un déploiement réel devrait satisfaire.

12.1 Une enveloppe opérationnelle, non une valorisation

Le défi final donne un coût brut évité moyen de 565,040 277 \$ CA par campus-jour. À 64 campus, l'avantage brut annuel est 13 199 340,87 \$ CA. Pour des frais annuels supplémentaires K et une fraction conservée q de l'avantage brut,

$$\alpha(q, K) = 13\,199\,340,87 q - K. \quad (18)$$

Le résultat net modélisé fixe $q = 1$ et $K = 2\,000\,000$ \$ CA. À ces frais, le seuil de rentabilité est $q_{BE} = 0,1515227$. La marge pratique de supériorité de 2 000 000 \$ CA exige $q > 0,3030454$ pour le calcul *punctuel*. Ce sont des seuils comptables déterministes, non des garanties statistiques sur q .

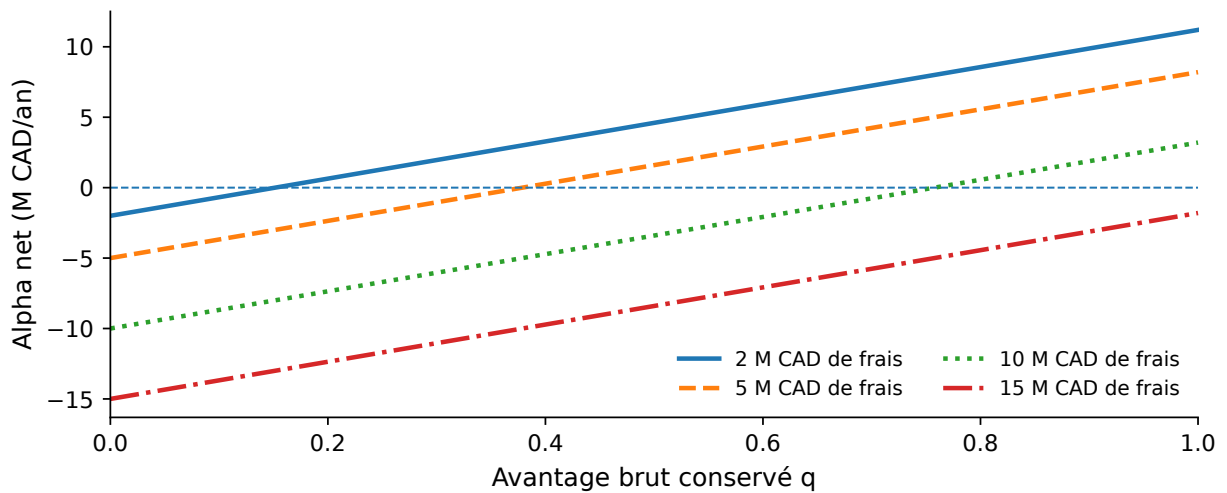


FIGURE 8. Enveloppe secondaire à résultats fixes. Les lignes modifient les frais supplémentaires et multiplient l'avantage brut enregistré sur Beta. Zéro est le seuil de rentabilité; le calcul ne réoptimise pas les plans, n'établit aucune persistance et ne constitue pas une bande de confiance.

Employer le même prédicteur et le même répartiteur que la référence ne crée pas d'Alpha prédictif sur cette référence. Si l'institution ajoute des frais non négatifs sans modifier les résultats, sa valeur incrémentale nette de coûts est non positive. Son utilité doit être démontrée par une comparaison appropriée du travail de révision, de reprise, de remplacement imputable ou d'autres résultats institutionnels mesurés. Cet article n'attribue aucune valeur monétaire à ces bénéfices non mesurés.

12.2 Érosion dans les comptes de capital appariés

Pour l'analyse sur quarante ans, conservons l'avantage quotidien *moyen des douze réajustements* et posons

$$q_t = \exp[-\lambda(t-1)], \quad e_{H,t} = e_B + q_t(e_H - e_B). \quad (19)$$

Les autres règles restent celles du scénario original. Les frais supplémentaires demeurent 2 000 000 \$ CA par an, même si l'avantage s'érode. Aucun réentraînement, règle de remplacement, dividende de découverte, intérêt sur la trésorerie inactive ou nouvelle capacité automatique n'est crédité. Chaque trajectoire finance ses nouveaux campus avec sa propre trésorerie conservée.

TABLE 4. Scénarios secondaires de persistance avec le plafond original de huit commandes annuelles. Différences HELIOS moins Beta, en millions de CAD modélisés sur quarante ans.

λ	Demi-vie	Distributions	Trésorerie	Sites en plus
0	Sans érosion	758,43	862,65	1
,02	34,66 ans	557,28	560,93	1
,05	13,86 ans	394,89	322,62	1
,10	6,93 ans	288,80	168,55	1
,20	3,47 ans	30,96	32,18	0

L'identité de trésorerie est contrôlée dans chaque scénario. À $\lambda = 0$, les quatre-vingts enregistrements annuels des deux trajectoires concordent avec l'implémentation originale. Si l'avantage brut est nul dès le départ, les frais réduisent les distributions de 32 000 000 \$ CA. Un avantage déclinant peut laisser un capital utile, sans rendre la trajectoire perpétuelle ni garantie. Les achats entiers de campus rendent la réponse discontinue.

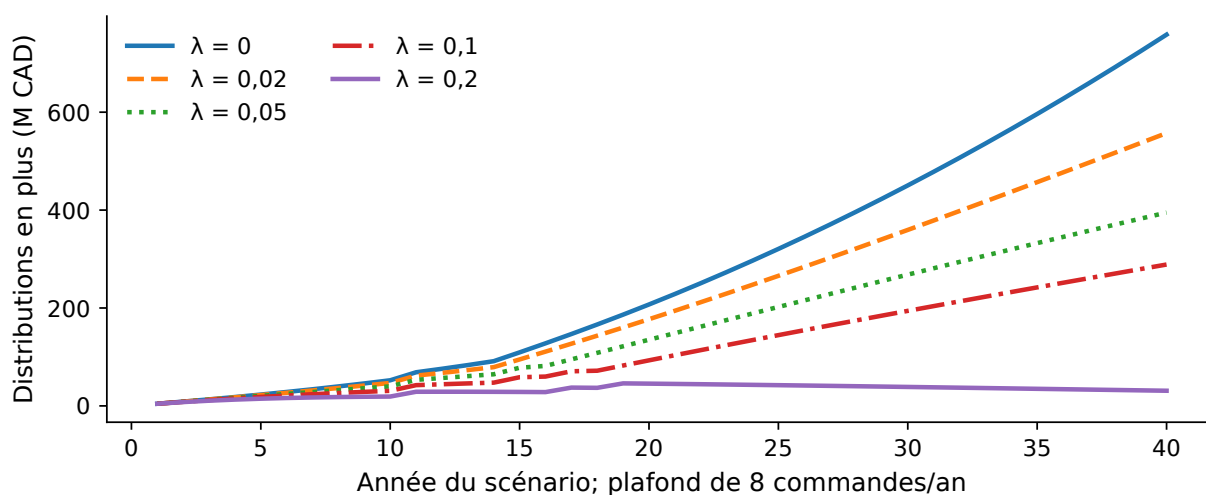


FIGURE 9. Distributions cumulées supplémentaires lorsque l'avantage opérationnel s'érode. Toutes les courbes partagent les actifs initiaux et les règles déclarées. Ce sont des scénarios conditionnels, non des prévisions ni des preuves empiriques indépendantes.

12.3 Le débit de construction change l'usage du surplus

À avantage constant, des plafonds communs de quatre, huit, douze ou seize commandes annuelles produisent respectivement zéro, un, un et trois campus supplémentaires en exploitation. Les distributions supplémentaires correspondantes sont 395 533 268 \$ CA, 758 428 115 \$ CA, 812 893 220 \$ CA et 1 060 544 964 \$ CA, arrondies. Les deux entreprises ont la même capacité de construction ; aucune amélioration de ce débit n'est attribuée au prédicteur de prix. [S02]

Un diagnostic distinct actualise seulement les distributions annuelles supplémentaires à des taux illustratifs. À 7%, leur différence actualisée vaut 160 072 325 \$ CA dans le scénario original sans érosion ; à 10%, 97 725 869 \$ CA. Il ne s'agit pas de valeurs d'entreprise : ni valeur terminale des actifs ni trésorerie conservée n'est incluse, et les taux sont supposés, non des coûts du capital estimés. L'annexe J conserve la grille complète.

13 Succession, preuves et prochaine mission productive

Les exemples natifs conservent constitution, preuves admises, paramètres de triage appris, comparaisons locales, Chronique et référence ancestrale exacte. G1 sélectionne Balanced Synthesist, à 123 paramètres; G2 sélectionne Compact Explorer, à 83 paramètres. Ce sont des résultats distincts de triage, non les architectures du spécialiste de prix. Les contraintes en langage naturel sont liées à l'objet natif, pas automatiquement compilées en programme linéaire ou politique universelle de sécurité. La valeur minimale requise de 1 \$ CA dans l'illustration de planification native est exclue de toute conclusion économique.

Signatures, empreintes et défis de possession permettent de détecter des modifications et de vérifier une cohérence relative à une clé; leur signification dépend du dispositif d'identité et de garde [11]. Ici, le propriétaire est autodéclaré, la clé publique est intégrée et seule la clé privée est chiffrée. Preuves et modèle restent lisibles. Aucune signature ne rend une prévision vraie, n'authentifie une propriété exclusive ou ne constitue une preuve indépendante de performance.

Le dossier de qualification locale lie les deux générations, le modèle énergétique choisi, la source du prédicteur, le répartiteur, le vérificateur et le résultat final. Il n'enregistre ni reçu indépendant ni admission en production. Cette séparation est conceptuellement cohérente avec une gestion des risques sur le cycle de vie [12]; elle n'est ni certification NIST, ni avis de conformité juridique, ni nouvelle passerelle externe de confiance.

13.1 Un programme de recherche extensible reste une proposition

L'institution à long horizon peut conserver méthodes et échecs en commandant de nouvelles missions : fiabilité de l'énergie livrée, débit de calcul applicatif, rendement des matériaux, capacité de fabrication et mise en service sûre. Chacune exige ses données admissibles, alternatives sérieuses et preuves opérationnelles. Aucun de ces spécialistes n'est entraîné dans cette capsule.

L'ordonnancement énergétique pourrait financer une prochaine mission après validation de gains réels, sans abolir capacité, chaleur, matières ou délais. L'annexe physique explicite collecte et rayonnement; elle reste séparée du registre terrestre de quarante ans et n'établit aucun déploiement astronomique.

14 Limites de validité et contrat d'acceptation sur données réelles

A priori structurel. Générateur et base de rareté ont été conçus ensemble. La grille générique finie exclut certaines alternatives structurelles, informées par l'oracle, ou commerciales. Des entrées égales n'égalisent ni connaissances ni recherche. Un Alpha local n'est pas une dominance universelle.

Information et temps. Covariables, solaire et travaux sont exacts. Les jours indépendants omettent persistance multijournalière et incertitude réelle de régime. Le bootstrap par jours convient au simulateur, pas nécessairement à une série opérationnelle; les lignes horaires ne sont pas des échantillons indépendants.

Adéquation physique. L'optimalité prévue omet réseau, thermique, usure et pannes. Les prix négatifs sont bornés hors domaine. Le contrôle de non-cycle n'est pas une formulation universelle du stockage. Un code opérationnel devrait distinguer irréalisabilité, non-bornitude, limite de temps et échec numérique, actuellement confondus par l'enveloppe.

Attribution. Aucun règlement réel, intervention ou arrêt évité n'est observé. Le capital suppose une entreprise rentable existante et un avantage persistant. Une expérience à modèle fixe devrait isoler les effets institutionnels sur revue, reprise, gouvernance ou erreurs. Le rendement énergétique n'est pas un rendement isolé de la plateforme.

Garde. Un même processus contrôle protocoles, génération, ajustement et évaluation. Vérificateurs distincts et nouvelles exécutions sont des contrôles d'ingénierie, non une réplique indépendante. Le produit commercial reste sous licence ; partager l'article ne rend pas le logiciel publiquement licencié.

Contrat proposé d'acceptation externe

Figurer l'adaptateur réel, la composition, le domaine réalisable, les comparateurs, coûts, marge et règles d'arrêt. Confier de nouvelles preuves autorisées à une équipe indépendante. Produire d'abord des propositions en observation, régler aux prix réels et mesurer le travail utile. N'envisager qu'ensuite une intervention limitée, surveillée et révocable. Aucune de ces étapes n'est achevée ici.

15 Conclusion

HELIOS Ω relie un spécialiste appris à des propositions vérifiées, des preuves conservées et un capital apparié. Sa deuxième génération obtient un Alpha positif dans douze réajustements synthétiques et un défi nouveau. L'échec initial et l'écart à l'information parfaite restent visibles.

L'architecture d'attribution est le résultat durable : conserver la mission lorsque le modèle change ; attacher le certificat au problème déclaré ; comparer à une alternative sérieuse ; ne créditer que la différence entre entreprises appariées. Cela soutient un spécialiste de recherche qualifié localement, non une superintelligence réelle, une richesse réalisée ou une autorité de production.

Apprendre l'avantage. Conserver les preuves. N'allouer le surplus qu'après réussite de la prochaine épreuve pertinente.

A Le générateur synthétique exact de prix

La spécification exécutable est 05_REPRODUCE/lab.py. Cette annexe la décrit sans suggérer un étalonnage sur marché réel. Posons $a_h = 2\pi h/24$, $s = \sin a_h$, $c = \cos a_h$, $s_2 = \sin 2a_h$ et $c_2 = \cos 2a_h$. La ligne observable est $x = (s, c, s_2, c_2, \tau, w, f, d, o, r)$. Les niveaux quotidiens de température, vent, combustible et demande sont tirés indépendamment de lois uniformes sur $[.1, .9]$, $[.08, .85]$, $[.3, .9]$ et $[.3, .95]$. L'indisponibilité o vaut 0, .5 ou 1 avec probabilités .60, .25 et .15; la région r est uniforme sur $[-1, 1]$.

La température horaire ajoute à son niveau quotidien $.15 \sin(a_h - 1)$ et un bruit gaussien d'écart-type .025. Le vent ajoute $.12 \cos(a_h + .8)$ et un bruit .035; la demande ajoute $.13 \sin(a_h - 2)$ et un bruit .02. Ces trois variables sont bornées à $[0, 1]$. Combustible, indisponibilité et région restent constants dans la journée. Définissons

$$z = \max(0, d + .5\tau - .65w + .25o - .52). \quad (20)$$

Les moyennes avant innovation valent

$$\mu_1 = 55 + 12s - 14c + 9s_2 + 20f + 24z^2 + 22z \quad (21)$$

$$+ 18o(.5 + .5s) + 12\tau c - 11ws_2 + 7rc_2 \quad (22)$$

$$+ 60(z - .4)_+ + 180(z - .7)_+^2 + 80(z - .4)_+(1 + s_2),$$

$$\mu_2 = 61 - 8s + 16c - 9s_2 + 22f + 48z^2 + 34z \quad (23)$$

$$+ 32o(.5 - .5s) - 8\tau c + 16ws_2 - 9rc_2 \quad (24)$$

$$+ 95(z - .4)_+ + 320(z - .7)_+^2 + 120(z - .4)_+(1 + s_2).$$

Ici $(v)_+ = \max(0, v)$. Le prix est borné à $[5, 600]$ après ajout d'une innovation quotidienne partagée $\mathcal{N}(0, 2.5^2)$ et d'un bruit horaire indépendant $2.5t_6$. Le champ conservé mean est diagnostique, non une variable d'inférence. Le profil solaire est

$$s_h^{\text{solar}} = 40 \max\{0, \sin[(h - 6)\pi/12]\}(.55 + .40U), \quad U \sim \mathcal{U}(0, 1). \quad (25)$$

Les lois de covariables et de solaire sont identiques dans les deux régimes; seule la relation de prix change. Les graines pour l'essai $j = 0, \dots, 11$, la génération $g \in \{1, 2\}$ et la partition $k \in \{0, 1, 2\}$ sont

$$804000 + 100j + 10g + k, \quad (26)$$

où k désigne entraînement, développement et défi. Le défi final utilise 881001; son bootstrap utilise 881002. Les graines de contrainte vont de 850000 à 850003. L'ordre des tirages dans la source participe à la reproduction exacte.

Interprétation. La fonction de rareté est un mécanisme conçu, non une loi économique découverte. Les charnières et interactions du spécialiste reflètent une connaissance préalable du mécanisme. Les innovations sont cachées, mais l'auteur n'est pas aveugle au processus générateur. Un résultat fort dans ce cadre soutient une exécution correcte et une utilité locale, non une nouveauté algorithmique ou une transportabilité au marché.

B Transformation des variables et spécification d'ajustement

La transformation structurée comprend les dix variables brutes, puis ces dix-sept termes :

$$(z, z^2, os, oc, \tau c, \tau s, ws_2, wc_2, rc_2, rs_2, d\tau, wd, \tau^2, w^2, sc, ss_2, cc_2). \quad (27)$$

Pour $k \in \{.2, .4, .6, .8\}$, elle ajoute $(z - k)_+^p$ pour $p \in \{1, 2\}$, puis les mêmes huit termes multipliés par s_2 . Le total est $10 + 17 + 8 + 8 = 43$. La charnière quadratique du générateur en .7 n'appartient pas exactement à cette base. La standardisation utilise uniquement les moyennes et échelles d'entraînement; ridge ne pénalise pas la constante. Les 44 paramètres de régression excluent les métadonnées de normalisation.

TABLE 5. Grille complète. Chaque candidat utilise les mêmes 96 jours d'entraînement par génération.

Famille	Spécification déclarée	Ajust./ronde
Ridge brut	StandardScaler + ridge $\lambda = 1$	1
Ridge polynomial	Degré deux, sans terme constant ajouté; StandardScaler; $\lambda = 10, 100$	2
Gradient sur histogrammes	(feuilles, taux) : (7,.05), (15,.1), (31,.05); 180 itérations; L2=2; pas d'arrêt précoce; graine 51	3
Arbres extra-aléatoires	128 arbres; feuille minimale 3; toutes les variables; graine 51; un fil	1
Ridge structuré	43 variables; $\lambda = .01, .1, 1, 10$	4

Le développement polynomial de dix entrées donne 65 variables avant sa constante ajustée. Les trois ensembles à gradient conservent les autres valeurs par défaut de scikit-learn 1.8.0, dont une feuille minimale de 20. Les égalités de coût de développement suivent le premier minimum stable de Python, dans l'ordre déclaré. Le spécialiste final choisi est `structured_10`; son Beta est `poly2_10`.

Les schémas d'export couvrent ridge structuré, ridge polynomial, arbres à histogrammes et arbres extra-aléatoires. Tous les modèles d'inférence distribués sont en JSON, non en pickle. L'implémentation Node portable sert au prédicteur structuré choisi. Le dossier fourni rapporte 4 608 prévisions horaires, avec écart maximal d'environ 1.14×10^{-13} par rapport à Python. L'article ne transforme pas ce test d'un modèle en garantie universelle multiplateforme. [E09]

C Tous les résultats des cohortes appariées

Chaque ligne constitue un ajustement et un défi nouveaux, non une graine d'évaluation supplémentaire du même modèle. L'Alpha inclut l'écart de frais annuels fixes à 64 campus. H RMSE est la moyenne des RMSE horaires par jour, en dollars canadiens/MWh, non la RMSE calculée sur toutes les heures regroupées. Les essais suivent les dossiers T00–T11.

Essai	Gén.	Beta	λ_H	Alpha (M\$ CA/an)	RMSE H
00	1	hist15_01	10,00	0,966	3,771
00	2	poly2_10	10,00	10,750	3,854
01	1	hist15_01	0,10	2,140	3,737
01	2	poly2_10	0,01	12,502	3,896
02	1	hist15_01	1,00	2,087	3,895
02	2	hist31_005	0,01	8,961	3,884
03	1	hist31_005	1,00	1,228	3,948
03	2	extra_trees	0,01	14,277	3,897
04	1	hist15_01	10,00	2,808	3,916
04	2	poly2_100	1,00	10,539	3,856
05	1	hist7_005	0,01	3,344	4,055
05	2	poly2_10	0,01	10,625	3,881
06	1	poly2_100	10,00	4,035	3,804
06	2	poly2_10	1,00	10,131	3,954
07	1	hist15_01	1,00	−8,933	6,224
07	2	poly2_10	0,01	10,836	3,898
08	1	hist15_01	10,00	2,415	3,940
08	2	poly2_10	10,00	10,635	4,097
09	1	poly2_100	10,00	2,516	4,200
09	2	poly2_100	0,01	10,274	3,790
10	1	hist15_01	10,00	0,842	3,874
10	2	poly2_10	1,00	13,158	3,893
11	1	hist15_01	0,01	0,861	3,903
11	2	hist15_01	10,00	8,957	4,127

Le nom d'histogramme indique le nombre de feuilles et le taux d'apprentissage; poly2 désigne ridge de degré deux. Une faible erreur moyenne ne prévient pas une forte perte de planification : G1 T07 en est le contre-exemple discuté. Aucune ligne n'a été supprimée pour masquer un échec.

D Certificats de plan et témoin complet

L'ordre du vecteur de décision est

$$x = (g_{0:23}, w_{0:23}, c_{0:23}, d_{0:23}, b_{0:24}, u_{0:23}) \in \mathbb{R}^{145}. \quad (28)$$

Le problème matriciel est $\min q^\top x$ sous $Ax = a$, $Bx \leq b$ et $l \leq x \leq u$. Selon la convention des valeurs marginales de SciPy, les multiplicateurs d'égalité y sont libres, ceux d'inégalité $\mu \leq 0$, ceux

de borne inférieure $\lambda \geq 0$ et ceux de borne supérieure $\nu \leq 0$. La stationnarité et l'objectif dual contrôlés sont

$$q - A^T y - B^T \mu - \lambda - \nu = 0, \quad (29)$$

$$d(y, \mu, \lambda, \nu) = a^T y + b^T \mu + l^T \lambda + u^T \nu. \quad (30)$$

Le certificat conserve $|q^T x - d|$, dépassements de signe et résidus. La borne u ne désigne pas ici le vecteur d'écèlement solaire des équations physiques.

TABLE 7. Maxima enregistrés sur les 20 736 plans primaires. Les résidus portent les unités de leurs équations; une tolérance unique ne signifie pas une importance physique égale.

Contrôle	Maximum
Résidu d'égalité	2.274×10^{-13}
Dépassement d'inégalité	1.706×10^{-13}
Dépassement de borne	1.492×10^{-13}
Charge/décharge simultanée	0 MW
Résidu de stationnarité	4.263×10^{-14}
Écart absolu primal-dual	5.821×10^{-11} dollars canadiens
Dépassement de signe dual	2.842×10^{-14}

Le vérificateur direct utilise $< 10^{-6}$ strict pour plusieurs résidus; le certificat matriciel utilise $\leq 10^{-6}$. Toutes les valeurs observées sont très inférieures aux deux limites. Ces contrôles certifient le plan numérique selon le modèle horaire déclaré, non l'état de santé d'une batterie, la fiabilité du réseau ou la véracité des données.

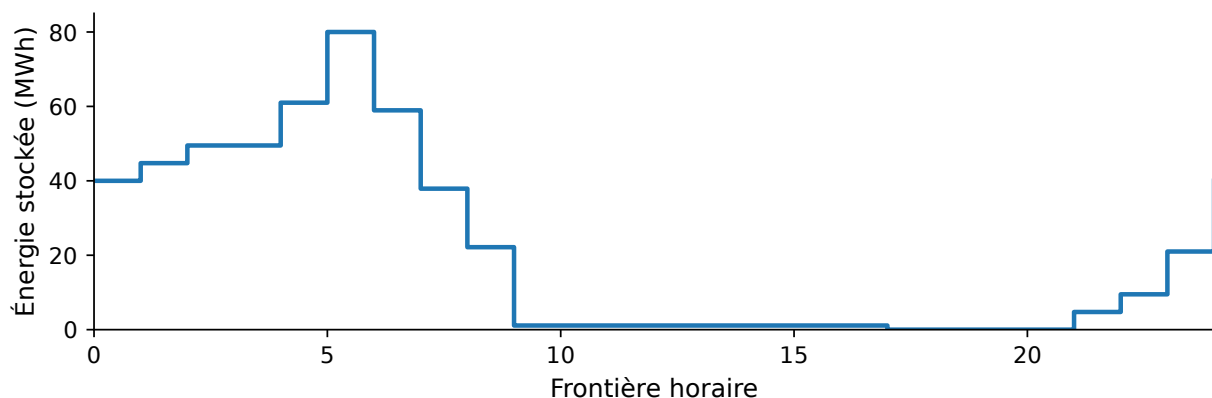


FIGURE 10. Énergie stockée pour le premier jour témoin. Les états initial et terminal sont tous deux de 40 MWh, empêchant un gain quotidien apparent obtenu en consommant gratuitement le stock terminal.

L'artefact conserve les 145 composantes du témoin, prévisions, prix synthétiques réalisés et multiplicateurs duaux. Pour le défi final, il conserve tous les plans et registres de coût, mais pas chaque vecteur dual journalier. La nouvelle exécution recalcule les contrôles du solveur; elle ne prétend pas que tous les témoins duaux originaux ont été conservés.

E Transition exacte du capital et sensibilité

Notons q_t les commandes de l'année t , $L = 2$ le délai, K_t la trésorerie après commandes et R_t les distributions. Le code met les projets échus en service avant de calculer la trésorerie opérationnelle annuelle. Initialiser $n_0 = 64$, $K_0 = 0$ et $q_t = 0$ pour $t \leq 0$. Pour un réinvestissement $\rho = .6$,

$$n_t = n_{t-1} + q_{t-L}, \quad (31)$$

$$R_t = (1 - \rho) \max(O_t, 0), \quad (32)$$

$$P_t = K_{t-1} + O_t - R_t, \quad (33)$$

$$k_t = 350\,000\,000 \max\{.70, .98^t\}, \quad (34)$$

$$U_t = \max\{0, \lfloor 64(1.12)^t \rfloor - n_t - \text{pipeline}_t\}, \quad (35)$$

$$q_t = \min\{\lfloor \max(P_t, 0)/k_t \rfloor, 8, U_t\}, \quad (36)$$

$$K_t = P_t - k_t q_t. \quad (37)$$

Les commandes sont entières et payées immédiatement. Un K_t négatif au-delà de la tolérance déclenche une erreur de financement. Aucune commande ne dépasse la demande disponible déclarée; les commandes déjà en cours en sont retranchées.

Proposition 3 (L'attribution de capital exige un contrefactuel). *Pour deux trajectoires de même capital initial et de mêmes définitions comptables, seules les différences entre comptes terminaux de trésorerie, distributions et capital investi peuvent être attribuées à la politique changée dans ce scénario. La croissance commune n'est pas une valeur supplémentaire de politique.*

Démonstration. Soustrayons année par année les transitions de l'équation (37). La trésorerie initiale identique s'annule. L'écart restant est la somme des écarts de trésorerie opérationnelle moins ceux de distributions et d'investissement. Aucun terme n'attribue à la politique le stock initial partagé ni les flux de référence communs. $\square$

TABLE 8. Comptes terminaux à quarante ans. Le capital cumulé inclut les actifs d'origine et les commandes payées non encore en service. Aucun compte ne constitue une valeur de marché.

Compte	Beta	HELIOS	Écart
Campus en exploitation	307	308	1
Capacité flexible (GW)	15,35	15,40	0,05
Distributions (M\$ CA)	62 486,31	63 244,74	758,43
Trésorerie (M\$ CA)	27 344,18	28 206,82	862,65
Capital investi (M\$ CA)	88 785,29	89 060,28	274,99

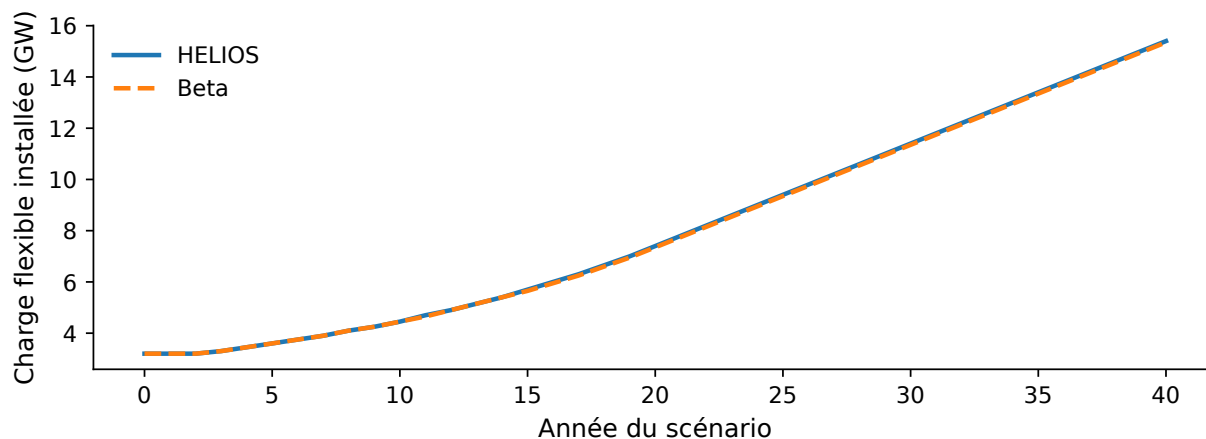


FIGURE 11. Les deux trajectoires croissent sous les mêmes hypothèses commerciales. La différence d'un campus, non les 308 campus entiers, est l'accroissement attribué à HELIOS dans ce scénario.

TABLE 9. Sensibilité du modèle de capital inchangé. Les colonnes monétaires représentent HELIOS moins Beta. La fraction réalisée d'avantage énergétique brut q est une hypothèse, non une probabilité ajustée.

q	Distributions (M\$ CA)	Capital investi (M\$ CA)	Campus H
0,00	-32,000	0,000	307
0,25	119,712	8,433	307
0,50	463,425	259,269	308
1,00	758,428	274,994	308

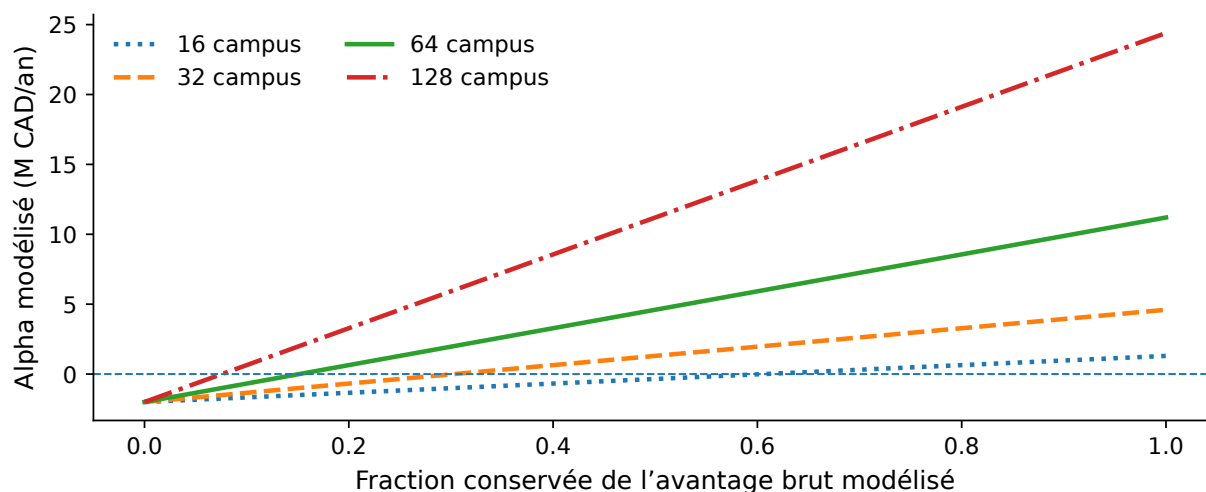


FIGURE 12. Sensibilité opérationnelle propre à la publication, calculée sur le défi final figé. Les frais annuels supplémentaires de deux millions restent fixes. Cette figure et le tableau de capital original utilisent des moyennes différentes et ne sont pas interchangeables.

Un portefeuille plus grand peut accroître l'Alpha annuel apparent par mise à l'échelle linéaire, mais cette arithmétique n'établit ni capacité de marché, demande, financement, économies causales ou source extensible de prix correctement prévus. Le modèle de quarante ans ne rémunère pas les liquidités inutilisées et ne réinjecte pas le capital accumulé dans une courbe mesurée d'apprentissage de recherche.

F Un horizon physique de ressources borné

La capsule comprend une feuille de ressources distincte. Pour une puissance P , un éclairement solaire normal idéal I et un rendement électrique η , la surface de collecte est

$$A_{\text{col}} = \frac{P}{\eta I}. \quad (38)$$

La référence NASA près de la Terre vaut environ $I = 1361 \text{ W/m}^2$ [13]. Ce n'est pas l'éclairement utile moyen d'un site terrestre. Pour $\eta = .30$ supposé et $P = 10^{12} \text{ W}$, la surface idéale est d'environ $2\,449 \text{ km}^2$.

Si la puissance électrique utile devient chaleur, une équation de surface rayonnante indicative est

$$A_{\text{rad}} = \frac{P}{\epsilon \sigma (T^4 - T_{\text{bg}}^4)}, \quad (39)$$

avec constante NIST $\sigma = 5.670374419 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ [14], émissivité supposée .9, température 340 K et fond négligeable relativement à celle-ci. La surface correspondante est d'environ $1\,466 \text{ km}^2$. Il s'agit de surface émettrice, non d'un radiateur validé ou d'une emprise au sol.

Les budgets de puissance supérieurs de la feuille sont uniquement dimensionnels. Énergie incidente disponible, géométrie, ombrage propre, masse, transport, dégradation, pertes et fiabilité doivent être réétablis à chaque échelle. Une formule de collecte n'établit pas une mégastucture réalisable; le scénario de capital ne démontre aucun mécanisme qui la construirait. Le programme proposé est une séquence de nouvelles obligations techniques, non une prévision déguisée en preuve.

G Reproduction et vérification de publication

G.1 Environnement d'exécution original

L'hôte enregistré est Linux x64, Node.js 22.16.0 et Python 3.13.5 avec NumPy 2.3.5, SciPy 1.17.0, scikit-learn 1.8.0 et Matplotlib 3.10.8. L'étude utilise des fichiers locaux, sans modèle hébergé, portefeuille ou GPU. L'installation des dépendances figées peut nécessiter une connexion; la reproduction ultérieure n'en a pas besoin.

Depuis la racine de simulation extraite, dans un environnement neuf :

```
python 05_REPRODUCE/verify_bundle.py
python -m venv ../helios-venv
# Activer l'environnement avec la commande de votre shell.
python -m pip install -r 05_REPRODUCE/requirements.txt
python 05_REPRODUCE/reproduce.py --out ../helios-replay
python 05_REPRODUCE/replay_final.py --out ../helios-final
```

Les deux outils refusent un dossier de sortie existant et n'écrasent pas la capsule. L'exécution primaire réalise tous les ajustements, génère les défis déclarés, analyse les résultats et répète les contrôles d'équations. La reproduction finale préserve les entrées et le protocole supplémentaires figés. Il s'agit de répétabilité à source identique, non d'une réplique indépendante ou d'une nouvelle preuve confirmatoire.

G.2 Une proposition locale exécutable

```
python 05_REPRODUCE/operate.py \  
  --model 02_MISSIONS/DISPATCH_G2/model.json \  
  --day-file 03_DATA/STUDY/T00_G2/challenge.npz \  
  --index 0 --out ../helios-proposal --authority A0
```

La commande lit X et solar, non price ou mean. Elle écrit prévision, plan complet, empreintes, certificat numérique et contrôles d'équations. Le fichier d'exemple contient des prix de règlement pour l'évaluation : l'accès au fichier seul n'établit donc pas une isolation forte de flux d'information ; le chemin de source exécuté et les tests d'utilisation des entrées soutiennent la revendication plus étroite.

G.3 Nouveaux contrôles de cette publication

La publication a réexécuté la campagne primaire et le défi final dans des dossiers de sortie neufs. Les 48 exports sélectionnés sont identiques et l'écart maximal de coût primaire par cas est nul. Le résultat final complet est identique. La reproduction primaire a aussi répété les 198 validations. Le rapprochement distinct de publication a exécuté 550 contrôles, réévalué les 23 296 plans avec le vérificateur direct, reconstruit les coûts, reproduit l'intervalle bootstrap final, vérifié les empreintes figées et rapproché chaque transition annuelle de trésorerie.

Les 33 autotests du produit et 16 contrôles natifs restent des preuves originales ; ils ne sont pas réexécutés dans cette édition. Les nouvelles exécutions couvrent les campagnes numériques, les 550 contrôles de rapprochement et les 532 assertions secondaires. Le rapport d'assurance distingue ces portées.

G.4 Recompiler la publication

```
cd 02_LATEX  
python build.py --lang both --paper both
```

La compilation utilise pdfLaTeX et Biber avec des polices standard distribuées par TeX. Aucun fichier de police n'est fourni. Les textes anglais et français intégraux, figures, bibliographie et sources sont inclus. Les éditions de lecture HTML comportent équations MathML, titres sémantiques, descriptions de figures et références liées. Aucune certification PDF/UA ou de technologie d'assistance n'est revendiquée.

H Index des preuves et identités exactes

Les identifiants renvoient aux chemins relatifs de la simulation originale inchangée. Les ajouts de publication sont distincts. Les identifiants courts rendent l'article lisible; l'index machine conserve chemins complets et empreintes.

ID	Revendication / portée	Localisation de preuve
E01	Conception, pilotes, préengagement	04_EVIDENCE/PROTOCOL.json; 04_EVIDENCE/DEVELOPMENT_PILOT.json.
E02	Générateur, variables et programme	05_REPRODUCE/lab.py; 05_REPRODUCE/verifier.py.
E03	Sélection et gel	03_DATA/STUDY/FROZEN.json; selection.json de chaque exécution.
E04	Coûts, contrôles, intervalles primaires	03_DATA/STUDY/case_ledger.csv; 03_DATA/STUDY/SOLVER_ACCEPTANCE.json; 04_EVIDENCE/RESULTS.json.
E05	Marge pratique finale	04_EVIDENCE/FINAL_PROTOCOL.json.
E06	Résultats et plans finaux	04_EVIDENCE/FINAL_CHALLENGE/RESULT.json; case_ledger.csv; plans.npz.
E07	Contraintes et tests négatifs	04_EVIDENCE/VALIDATION.json; 05_REPRODUCE/validate.py.
E08	Filiation native	02_MISSIONS/G1/mission.successor.json; fichier G2 correspondant; 04_EVIDENCE/NATIVE_ACCEPTANCE.json.
E09	Prédicteur portable	02_MISSIONS/DISPATCH_G2/model.json; 05_REPRODUCE/forecast.mjs; 04_EVIDENCE/PORTABLE_FORECAST_ACCEPTANCE.json.
E10	Comptes de capital appariés	07_ECONOMICS/CAPITAL_SCENARIO.json; CAPITAL_SENSITIVITY.json; 05_REPRODUCE/capital.py.
E11	Qualification locale seulement	02_MISSIONS/LOCAL_QUALIFICATION.json.
P01	Nouvelle reproduction	Publication 05_ASSURANCE/PRIMARY_REPLAY.json et FINAL_REPLAY.json.
P02	Rapprochement de publication	Publication 04_DATA/paper_analysis.json; tools/analyze.py.
P03	Compilation et contrôle visuel	Publication 05_ASSURANCE/PUBLICATION_ACCEPTANCE.json.
S01	Audit du regret décisionnel figé	Publication 04_DATA/regret_checks.csv; tools/secondary.py.
S02	Persistence, construction et actualisation	Publication 04_DATA/secondary_analysis.json; 04_DATA/capital_grid.csv.

La simulation complète est conservée octet pour octet dans l'ensemble intégral. Son SHA-256 original et celui du produit intégré figurent dans 04_DATA/SOURCE_IDENTITIES.json. L'ensemble de publication publique exclut le logiciel commercial sous licence. Les empreintes établissent l'identité par rapport aux octets enregistrés, non une origine indépendante ou une vérité scientifique.

I Provenance, préparation et distribution

Ce rapport assisté par IA a été préparé pour Vincent Boucher, président de MONTREAL.AI et QUEBEC.AI, à partir de la capsule HELIOS fournie. Il ne prétend pas qu'il a personnellement exécuté le code, examiné indépendamment les expériences ou fourni un résultat client réel. Aucun coauteur, affiliation externe, approbation, acceptation de revue ou DOI enregistré n'est inventé.

Les sources HELIOS-LAB 1.0.0 et le produit client SUCCESSOR Ω 16.1.0 R6 restent inchangés. La publication ajoute explications, formalisation, nouvelles répétitions, rapprochement numérique et sensibilité opérationnelle secondaire explicitement qualifiée. Elle ne modifie ni modèle sélectionné, prix originaux, hypothèses de coût, graines ou conclusion primaire.

La plateforme institutionnelle ne reçoit pas l'intégralité du gain monétaire du prédicteur développé côté client. L'étude ne mesure pas non plus la supériorité contrefactuelle du prédicteur après avoir donné à Beta la même transformation structurelle. Une telle ablation, des alternatives externes plus fortes et des preuves réelles acquises indépendamment seraient des tests suivants importants.

Modèles de prix, apprenants natifs de triage et optimiseur sont des mécanismes distincts. Le successeur de prix G2 est réajusté, non initialisé sur G1. L'enveloppe de non-réussite est un mécanisme de refus, non un théorème général d'irréalisabilité. Les contraintes natives sont liées textuellement, non compilées automatiquement. Ces précisions interprétatives ne modifient pas les résultats ; elles empêchent les revendications de dépasser l'implémentation.

L'ensemble de recherche contient un logiciel commercial selon sa licence originale. Ce n'est pas une diffusion logicielle publique illimitée. L'article et son ensemble LaTeX/HTML de publication seule sont des livrables distincts que l'organisation commanditaire peut publier selon ses modalités autorisées. Aucune nouvelle licence libre ou Creative Commons n'est imposée ici.

Édition 2. Les résultats primaires de l'édition 1 sont conservés. Cette édition ajoute les analyses explicitement secondaires de l'annexe J. Aucune sélection de modèle, hypothèse de la comparaison primaire ou décision A0 originale n'est modifiée.

J Calculs secondaires de l'édition 2

Ces calculs réutilisent les modèles, les coûts et les plans figés. Ils n'ajoutent aucun jour d'exploitation simulée, aucun ajustement et aucun essai confirmatoire. Les scénarios de capital sont de nouvelles trajectoires comptables sous hypothèses, non de nouveaux résultats du modèle.

J.1 Grille complète érosion-capacité

Les montants sont les différences HELIOS moins Beta après quarante ans, en millions de CAD non actualisés. Les paramètres communs restent ceux de l'annexe E.

Plafond	λ	Distributions	Trésorerie	Investi	Sites en plus
4	0,00	395,53	593,30	0,00	0
4	0,02	242,20	363,30	0,00	0
4	0,05	122,83	184,24	0,00	0
4	0,10	43,95	65,93	0,00	0
4	0,20	1,77	2,65	0,00	0
8	0,00	758,43	862,65	274,99	1
8	0,02	557,28	560,93	274,99	1
8	0,05	394,89	322,62	269,72	1
8	0,10	288,80	168,54	264,65	1
8	0,20	30,96	32,18	14,27	0
12	0,00	812,89	944,35	274,99	1
12	0,02	589,76	609,65	274,99	1
12	0,05	393,76	320,92	269,72	1
12	0,10	118,39	157,93	19,65	0
12	0,20	50,15	60,96	14,27	0
16	0,00	1 060,54	825,82	764,99	3
16	0,02	712,89	549,34	519,99	2
16	0,05	425,20	368,08	269,72	1
16	0,10	157,08	215,97	19,65	0
16	0,20	69,28	89,65	14,27	0

J.2 Actualisation partielle des distributions

Pour un taux supposé r , le diagnostic calcule seulement $\sum_{t=1}^{40} (D_{H,t} - D_{B,t}) / (1+r)^t$. Aucun rendement réel, coût du capital estimé, valeur terminale ou recommandation d'investissement n'en découle.

Érosion λ	0%	3%	7%	10%
0,00	758,43	362,17	160,07	97,73
0,02	557,28	276,07	127,99	80,66
0,05	394,89	200,84	96,64	62,64
0,10	288,80	146,83	71,28	46,85
0,20	30,96	28,08	22,71	19,33

J.3 Identités exécutées et périmètre

Le programme secondaire contrôle 480 valeurs annuelles de concordance, les identités de trésorerie et plafonds des vingt scénarios, le témoin sans avantage brut, les identités et bornes de regret des deux politiques, ainsi que le passage du gain brut au gain net. Au total, 532 assertions réussissent. Les 1 024 lignes politique-jour restent disponibles dans le CSV ; elles ne sont pas présentées comme 1 024 expériences indépendantes.

```
python tools/secondary.py \  
  --simulation /path/to/extracted/HELIOS_OMEGA \  
  --out /path/to/new/secondary-analysis
```

Sources de publication :

tools/secondary.py

04_DATA/secondary_analysis.json

04_DATA/regret_checks.csv

04_DATA/capital_grid.csv

05_ASSURANCE/INPUT_IDENTITIES.json

Références

- [1] MONTREAL.AI / QUEBEC.AI. *HELIOS Ω : Complete Institutional Simulation, HELIOS-LAB 1.0.0*. User-supplied computational capsule. Unchanged SUCCESSOR Ω 16.1.0 R6 customer product; author-controlled synthetic evidence. Exact archive identity appears in Appendix H. Sept. 2026.
- [2] S. LI, L. TONG et T. D. MOUNT. *Energy Management for Renewable-Colocated Artificial Intelligence Data Centers*. 2025. DOI : 10.48550/arXiv.2507.08011. arXiv : 2507.08011.
- [3] A. N. ELMACHTOUB et P. GRIGAS. « Smart “Predict, then Optimize” ». In : *Management Science* 68.1 (2022), p. 9-26. DOI : 10.1287/mnsc.2020.3922. arXiv : 1710.08005.
- [4] HiGHS DEVELOPERS. *HiGHS : High-performance software for linear optimization*. Official project documentation. The experiment invokes HiGHS through SciPy. URL : <https://highs.dev/> (visité le 04/09/2026).
- [5] SCIKIT-LEARN DEVELOPERS. *Ridge : scikit-learn 1.8.0 documentation*. 2026. URL : https://scikit-learn.org/1.8/modules/generated/sklearn.linear_model.Ridge.html (visité le 04/09/2026).
- [6] M. MITCHELL, S. WU, A. ZALDIVAR, P. BARNES, L. VASSERMAN, B. HUTCHINSON, E. SPITZER, I. D. RAJI et T. GEBRU. « Model Cards for Model Reporting ». In : *Proceedings of the Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*. 2019, p. 220-229. DOI : 10.1145/3287560.3287596. arXiv : 1810.03993.
- [7] G. C. CAWLEY et N. L. C. TALBOT. « On Over-fitting in Model Selection and Subsequent Selection Bias in Performance Evaluation ». In : *Journal of Machine Learning Research* 11.70 (2010), p. 2079-2107. URL : <https://jmlr.org/papers/v11/cawley10a.html>.
- [8] SciPY DEVELOPERS. *linprog(method='highs')*. Official documentation; execution pinned to SciPy 1.17.0. The live documentation may describe a later release. URL : <https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/optimize.linprog-highs.html> (visité le 04/09/2026).
- [9] K. GARIFI, K. BAKER, D. CHRISTENSEN et B. TOURI. *Control of Energy Storage in Home Energy Management Systems : Non-Simultaneous Charging and Discharging Guarantees*. 2018. DOI : 10.48550/arXiv.1805.00100. arXiv : 1805.00100.
- [10] C. DWORK, V. FELDMAN, M. HARDT, T. PITASSI, O. REINGOLD et A. ROTH. *Generalization in Adaptive Data Analysis and Holdout Reuse*. 2015. DOI : 10.48550/arXiv.1506.02629. arXiv : 1506.02629.
- [11] NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. *Digital Signature Standard (DSS)*. FIPS 186-5. NIST, 2023. DOI : 10.6028/NIST.FIPS.186-5. URL : <https://csrc.nist.gov/pubs/fips/186-5/final>.
- [12] NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. *Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0)*. Rapp. tech. AI 100-1. Cited as a lifecycle-risk framework, not a certification or statement of current mandatory law. NIST, 2023. DOI : 10.6028/NIST.AI.100-1.
- [13] NASA GODDARD SPACE FLIGHT CENTER. *Solar Irradiance Science*. URL : <https://earth.gsfc.nasa.gov/climate/projects/solar-irradiance/science> (visité le 04/09/2026).
- [14] NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. *CODATA Value : Stefan-Boltzmann Constant*. URL : <https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?sigma> (visité le 04/09/2026).