

RESEARCH MONOGRAPH / FINAL AUTHOR EDITION 4.0

FORGE Ω

The Productive Intelligence Institution

From qualified advantage
to enduring productive capacity



CONCEPTUAL HORIZON / AI-GENERATED ART. NOT AN ENGINEERED DESIGN.

Vincent Boucher

President, QUEBEC.AI & MONTREAL.AI

Executed computation. Synthetic industrial and financial evidence.
No construction, realized Alpha or independent superintelligence qualification.

The institution is the compounding asset

FROM A LOCAL DECISION TO AN EXPANDING PRODUCTIVE FRONTIER

An answer expires.
A qualified method can endure.

The ambitious asset is not a single model presumed superior forever. It is a customer-controlled institution that turns a mission into tested decisions, records what failed, pays for the capacity that works and preserves the evidence needed to qualify its successor. Each productive advance can enlarge the next question the owner is able to investigate.

The research proposition	
Better decisions can improve productive assets. Realized surplus can finance better evidence and new research. Verified manufacturing capability can expand the feasible set. Institutional continuity can retain the method while replacing the model. This sequence is a proposed industrial research architecture. FORGE executes a bounded part of it; it does not claim to have completed the entire trajectory.	
Three horizons	The contribution and its evidence boundary
Operating	HELIOS supplies a fixed energy-cost input. Its prior advantage is not counted again.
Productive	FORGE trains a stage forecaster and prices a 24-campus construction programme. This is the executed synthetic case.
Expansive	Materials, fabrication, energy capture and remote assembly are future missions, each requiring new physical and economic evidence.

READING STANDARD Actual computation / conditional value / prospective scale.
The three are connected, never substituted for one another.

Abstract

A productive intelligence must do more than improve forecasts: it must choose interventions under shared constraints, charge for those interventions and preserve the evidence required to reconsider them. FORGE Ω studies this proposition through an executed, entirely synthetic construction programme. A fictional owner allocates a CA\$12,000,000,000 envelope across 24 committed campuses. A customer-built forecaster estimates four delivery-stage outcomes under four modes; a 673-variable mixed-integer planner chooses project starts, modes and paid factory capacity. The unchanged SUCCESSOR Ω 16.1.0 product separately retains two signed mission generations linked to the HELIOS predecessor. All proposed effects remain A0.

Eight paired cohort trials per generation fit nine candidates to 1,600 historical projects with one randomized mode observed per project. Development selection uses programme net present value (NPV). A predesignated frozen G2 composition is challenged on 64 new programmes. It improves mean modeled NPV over the development-selected Beta by CA\$5,715,320, with a conditional paired-programme 95% interval of [CA\$3,665,779, CA\$7,902,328], and wins 44 of 64 programmes. Its CA\$522,867,202 improvement over conventional delivery is a broader strategy contrast, not additive Alpha. Lower capital expenditure more than offsets slightly lower discounted operating cash and a CA\$2,000,000 incremental policy cost. FORGE is slower than Beta on average, but improves the modeled capital outcome.

The general G2 refit interval crosses zero. The retained edition-2 analysis adds a shared priced-capacity menu on the existing final cohort: 384 secondary plans. FORGE gains a mean CA\$147.040 million over its own original decisions, but Beta gains more; menu-enabled competitive Alpha narrows to CA\$3.112 million. This post hoc result does not revise the primary qualification. The retained fixed-record underwriting frontier shows that at the original cost, a positive conditional lower endpoint requires retaining over 35.30% of the original pre-fee edge, or 66.09% under the expanded menu. These are assumption thresholds, not estimated persistence. The final author edition adds a conditional productive-reproduction criterion with explicit delivery lags and resource ceilings. The paper connects learned decisions, scarce capacity, cash discipline and retained evidence, then formalizes a prospective programme of successive productive missions. Synthetic treatment effects, simulator-informed priors and local custody preclude claims of real industrial gains, independently qualified Specialist ASI or production admission.

Keywords: predict-then-optimize; industrial capacity; capital allocation; mixed-integer programming; comparative Alpha; mission intelligence; signed succession; synthetic evaluation.

The reading contract

Executed means code and numerical checks actually run. **Modeled** means a consequence of declared synthetic assumptions. **Proposed** means a future requirement. Monetary results are Canadian-dollar, 20-year programme NPVs at a declared 5% discount rate unless stated otherwise. They are not annual earnings, cash receipts or enterprise valuations.

FORGE-TR-04, author edition 4.0. AI-assisted report prepared from FORGE-LAB 1.0.0. No independent peer review or third-party certification is claimed. The original simulation and commercial product are unchanged.

Decision brief

FOR OWNERS, TECHNICAL LEADERS AND ASSURANCE COMMITTEES

The decision is not simply how to build faster. It is which acceleration is worth buying. FORGE gives a wealthy technical owner a local proposal for construction modes, scarce start slots and paid factory cells. Every alternative receives the same project contracts and the same inherited HELIOS energy cost.

Decision-relevant finding	Result
Mean competitive Alpha over selected Beta	CA\$5,715,320
Conditional final-challenge 95% interval	3.666–7.902 million CAD
Positive final programme outcomes	44 / 64
G2 mean across eight refits	CA\$2,794,550
G2 across-refit interval	–0.762–6.351 million CAD
Capital expenditure avoided versus Beta	CA\$12,618,191
Change in discounted operating cash	CA\$–4,902,871
Additional programme policy cost	CA\$2,000,000
Mean completion relative to Beta	0.071 months later

The larger contrast is not the narrower claim. FORGE improves modeled programme NPV by CA\$522,867,202 over the conventional-only reference and accelerates completion by 10.59 months. Beta also has access to factory and crew options. Its comparison isolates a much smaller additional advantage. None of these contrasts may be added together.

Capacity is measured, not invented. All policies eventually deliver the same 24 campuses. By month 48, FORGE has a mean of 9.25 campuses operating, versus 3.328 conventionally. The approximately 296 MW of earlier capacity is not extra lifetime capacity, realized computation or an observed engineering outcome.

Two decisions, not one

Retain the frozen G2 composition for further A0 research: its local synthetic challenge passes.
Refuse a blanket superiority claim for the G2 training procedure: its across-refit interval includes zero. No independent Specialist ASI status or consequential authority is granted.

The next investment. Independently validate the observable input adapter, delivery-mode effects, procurability of extra capacity and full construction constraints. A favorable NPV cannot finance its own expenditure before cash is realized. A paid capacity option needs its own qualification mission.

Evidence atlas

ONE COMPOSITION. DIFFERENT PROOF OBLIGATIONS.

Layer	Established locally	Boundary preserved
Learning	144 candidate fits; 32 selected exports; four-stage predictions	Simulator-informed basis; synthetic randomized modes; no learned real causal effects
Planning	672 bounded binary choices and one integer factory decision	Abstract mobilization and kit slots, not full site engineering
Comparison	Eight paired refits per regime and 64 frozen final programmes	Finite comparator set; fixed-model and training-procedure claims differ
Economics	Explicit capital, cash-flow PV and policy-cost ledgers	Upfront capital convention; authored contracts; no actual receipts
Continuity	Signed native generations 3 and 4 linked to HELIOS G2	Fresh fitting, not inherited weights, proof or authority
Verification	Separate choice/cash reconstruction; selected refits; final re-solves	Same workflow and host, not independent custody or replication
Authority	Local A0 proposals and explicit refusal conditions	No contract, payment, controller or construction connector

The customer-built stage forecaster and integer planner are not stock product capabilities. The native six-signal triage networks are genuinely trained but are not assigned the construction programme's monetary gain. The platform remains licensed under the supplied terms; retained mission files do not prove legal title or exclusive ownership.

What the final author edition contains

The complete methods and retained results; the shared 384-plan capacity menu; the retained 8,262-point advantage-retention/cost frontier; a priced delivery-risk diagnostic; an institutional investment-certificate design; and an offline decision laboratory. These computations are fixed-record secondary analyses, not independent confirmation trials. The final author edition adds a prospective, resource-bounded expansion argument and corrects authorship throughout. The cover and horizon illustrations are conceptual artwork, not engineering results.

The original negative and losing results remain intact. In particular, twenty final programmes do not win, G2's refit interval crosses zero, and buying maximum speed does not maximize NPV. The complete evidence record permits inspection of those distinctions rather than collapsing them into a single promotion label.

Read by purpose

Decision makers: decision brief; Sections 9, 11, 16 and 20.

Technical readers: Sections 4–8; Appendices A–E.

Assurance reviewers: the evidence atlas, Sections 14–15 and Appendices G–I.

Contents

The institutional thesis	i
Abstract	ii
Decision brief	iii
Evidence atlas	iv
1 From an operating edge to productive capacity	1
2 A mission composition with separate obligations	1
3 The committed programme and its physical abstraction	2
4 Synthetic evidence, treatment assignment and chronology	3
5 A learned four-stage specialist and serious alternatives	4
6 The capital-and-capacity integer programme	5
7 What forecast error can—and cannot—change	6
8 Comparative Alpha and two kinds of uncertainty	7
9 Results: a useful frozen specialist, not a universal procedure	8
10 Inside the first retained operating proposal	10
11 Capital attribution: value is not maximum speed	11
12 Earlier capacity and the next priced bottleneck	12
13 Secondary repricing and decision regret	12
14 Signed succession, evidence custody and authority	13
15 Relation to prior work and limits of qualification	14
16 Buying a larger feasible set	15
17 The advantage-to-capital frontier	17
18 A purchasable capability needs a delivery case	19
19 The institutional investment certificate	20
20 The productive institution that can compound	21
21 When productive advantage can finance expansion	22
22 An ambitious horizon with a physical ledger	24
23 Conclusion	25
A Exact synthetic response and economic generator	26
B Feature map and complete fitting specification	27
C All paired cohort outcomes	28
D Complete frozen final-challenge ledger	28
E The complete first programme witness	30
F Fixed-plan repricing and decision regret	31
G Reproduction and publication acceptance	31
H Claim-to-evidence index and exact identity	33
I Provenance, authorship and distribution	34
J Edition 2 capacity-menu protocol and complete record	35
K Source additions and physical resource account	37
L Edition 3: underwriting, interface and publication acceptance	37
M Final author edition: scope, corrections and verification	38
References	40

1 From an operating edge to productive capacity

A capital-rich organization can still be capacity-constrained. Improving the operation of existing infrastructure does not establish how quickly the next plant can be manufactured, delivered or commissioned. HELIOS studied a forecast–dispatch advantage and a capital scenario in which construction throughput became binding [1]. FORGE changes the question: which delivery methods and paid capacity options should a technical owner select for a committed expansion programme?

The fictional Asterion Infrastructure Partners has an assumed CA\$100,000,000,000 asset base and reserves CA\$12,000,000,000 for 24 campuses. The asset base is narrative context; it does not multiply any result. Each campus represents 50 MW of eventual flexible compute-load capacity. All alternatives eventually deliver the same 1.2 GW. The primary source is the supplied FORGE simulation capsule [2].

The study connects three mechanisms. A learned stage-response model maps observable conditions and a proposed delivery mode to procurement, civil, integration and rework outcomes. An integer planner allocates modes, starts and factory cells under common constraints. A mission record preserves evidence, alternatives, lineage and explicit refusal of unsupported authority. This is an executed systems example, not a claim of a new general-purpose optimizer or a universal industrial model.

1.1 Questions the experiment can answer

Does the frozen structured forecaster induce better programme decisions than a development-selected generic model? Is that advantage consistent across fresh training cohorts? Does improving NPV also improve construction speed? Can a native mission lineage retain the exact research composition without conferring production authority? The final fixed-model answer is locally favorable; the training-procedure answer is uncertain; speed and value diverge; and lineage is demonstrated within a locally controlled artifact workflow.

The paper distinguishes *predict–then–optimize* from end-to-end decision-focused learning. Forecasts are fit to stage outcomes, while candidate selection uses downstream NPV. The optimization problem is not differentiated through during fitting. Prior work motivates evaluating decision quality rather than prediction loss alone [3, 4, 5]; FORGE does not implement SPO+ or claim their theoretical guarantees.

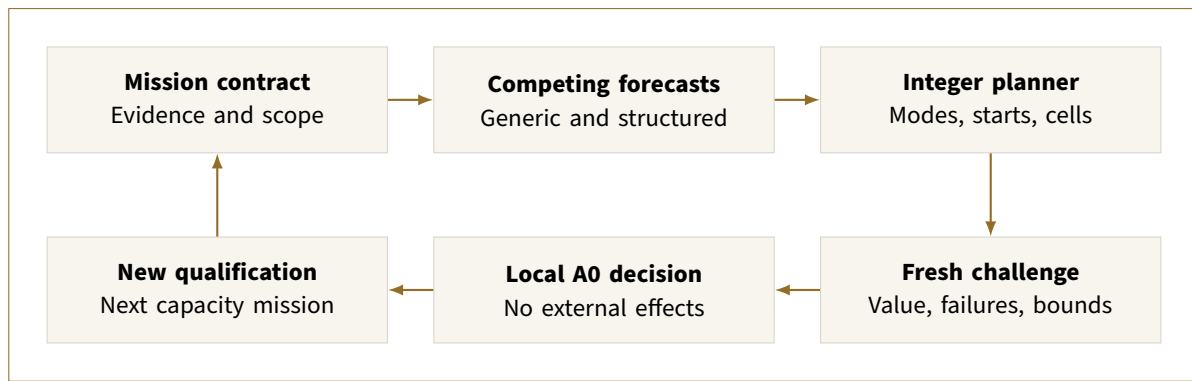
2 A mission composition with separate obligations

Represent a research composition by

$$C_g = (M_g, D_g, \phi_g, \theta_g, X_g, J_g, \mathcal{E}_g, \ell_g, a_g), \quad (1)$$

where M_g is the mission and input contract, D_g the admitted data, ϕ_g the representation, θ_g fitted parameters, X_g the feasible decision set, J_g the economic objective, $\mathcal{E}_g$ retained evidence, ℓ_g lineage and a_g authority. The notation separates objects that are often hidden inside the word “agent.” It does not imply independent authentication of every component.

The unchanged commercial product creates two native six-signal triage missions, each with 400 admitted rows and 27,000 repeated parameter updates. They become native generations 3 and 4 because the first references HELIOS G2. The construction forecaster and planner are separate



Persistent record: mission, admitted evidence, alternatives, exact models, decisions, failures and lineage

Figure 1. Logical composition of the executed research route. The native mission record and customer-built planner are distinct. All roles remain controlled by the same workflow; diagrammatic separation is not independent custody.

customer-built extensions. The native triage models do not determine the construction schedules and receive no separately measured financial attribution. [F07]

A0 means inspect, evaluate, retain and propose. The local operating recipe validates the declared input contract, forecasts outcomes, solves the finite planning problem, rechecks the proposed allocation and writes a report. It has no contract-award, payment, factory-control or construction connector. Self-declared input-qualification flags are admission checks, not proof that engineering evidence is genuine.

Operational sequence

Admit observable evidence → fit alternatives → select on development programmes → freeze models and source → generate fresh challenges → compare complete policies → retain the local decision. A new generation reopens the evidence obligation; it does not inherit a victory.

3 The committed programme and its physical abstraction

Each programme contains 24 projects. The model must choose exactly one of four delivery modes and one of seven start periods for every project; cancellation is not an option. The starts are $\mathcal{T} = \{0, 6, 12, 18, 24, 30, 36\}$ months. Depending on engineering readiness, a project is released in month 0 or 6. This is a delivery-allocation problem for committed projects, not an investment-selection model that can decline an uneconomic campus.

Table 1. Declared programme contract. Monetary inputs are millions of CAD unless indicated otherwise.

Construction cash envelope	12,000
Factory cell cost / lead time	105 / 12 months
Maximum factory cells	2
Qualified kits per cell per half-year	4
Site mobilization slots per half-year	4
Rework reserve per campus	60
Evaluation endpoint / annual discount rate	240 months / 5%
Policy fees: conventional / Beta / FORGE	2 / 8 / 10
HELIOS operating energy input	CA\$64,407.32 per campus-day

Table 2. Common delivery choices. A slot represents mobilization, not sustained crew occupancy.

Mode	Delivery treatment	Fee	Slots	Factory kit
0	Conventional	0	1.00	No
1	Reinforced crews	12	1.25	No
2	Factory-qualified modules	20	0.50	Yes
3	Integrated factory and crews	29	0.75	Yes

The construction plan buys each factory cell once and counts kits in the period when a factory-based project starts. Unused kits are not carried forward. The model does not occupy crew resources continuously across the predicted stage duration; it constrains starts. There are no inter-project precedence arcs, grid interconnection model, permit process, outage process or spatial logistics network. This differs substantially from full resource-constrained project scheduling benchmarks [6].

The assumed service contribution is CA\$500–CA\$600 per completed-work MWh, applied to 600 MWh per day. It is an authored contract input, not a market quote. HELIOS energy cost, staff cost and replacement allowances are common to every policy. The energy advantage is not credited again. Base capital and annual operating cash are specified exactly in Appendix A.

4 Synthetic evidence, treatment assignment and chronology

The ten normalized inputs describe engineering readiness, supply pressure, modular compatibility, civil complexity, crew experience, quality maturity, logistics pressure, interface complexity, contract strength and weather exposure. They are constructed signals, not calibrated empirical measurements.

For each of eight paired trials and two regimes, 1,600 historical projects receive one uniformly randomized delivery mode and four observed stage outcomes. The training set does not expose all potential outcomes of a historical project. Common shocks couple groups of 20 historical projects. In evaluation, each 24-site programme receives a common four-component shock plus site shocks shared across its four potential modes. This pairing permits controlled synthetic comparisons; it is not a real randomized industrial trial.

Table 3. Evidence allocation. Replays and publication analyses are not counted as new project evidence.

Evidence	Projects	Role
Sixteen historical cohorts	25,600	1,600 per fit round
Development programmes	1,152	3 per round, 24 sites each
Primary challenge programmes	3,072	8 per round, 24 sites each
Final frozen challenge	1,536	64 programmes, 24 sites each
Economic project instances	31,360	Excludes native governance rows
Separate native mission rows	800	400 in each signed mission

G2 shifts the supply-pressure and interface-complexity distributions and changes selected response coefficients. Stage bounds remain [2, 70], [2, 70], [1, 35] months and [0, 60] million CAD for rework. Exact formulas, shock scales and seeds appear in Appendix A. Documenting the generator and intended use follows the general rationale of dataset documentation, without certifying the simulator's realism [7].

4.1 Development knowledge is not hidden

Four pilots on the same synthetic programme were consulted before the primary protocol. They led to bounded-output fitting, stage-specific parameter masks and changes to the modular-response design. The mission was restricted to an already-contracted, higher-contribution portfolio after earlier pilots exposed unattractive conventional economics and little factory adoption. Those choices are explicitly retained in the development disclosure. [F02]

Thus the specialist is deliberately well aligned with a known simulator. The primary seeds are separate from the pilots, but the operator knows the response structure and controls training and evaluation. Local protocol files and timestamps establish traceability, not independent preregistration, blind discovery or protected evidence custody.

5 A learned four-stage specialist and serious alternatives

The generic representation contains ten signals, a factory indicator, a crew indicator and their interaction. Five candidates are fit: standardized ridge with penalties 1 and 100; degree-two polynomial ridge with penalty 10; 80-tree extra trees; and four-output histogram gradient boosting. The latter two are nontrivial nonlinear alternatives. Implementation settings are fully specified in Appendix B; the library version is scikit-learn 1.8.0 [8].

The structured representation has 39 coordinates partitioned into stage blocks of widths (11, 10, 9, 9). Procurement uses supply /logistics and modular interactions; civil work uses readiness, complexity, weather and crew terms; integration and rework use interface/quality interactions. There are 39 free slopes plus four intercepts. The dense export stores a 4×39 matrix with zeros outside each stage's block, as well as normalization metadata.

5.1 The actual fitting objective

For stage k , let z_i be training-standardized features from its block, $[L_k, U_k]$ its bounds and y_{ik} its clipped observed outcome. The fitted objective is

$$\min_{\beta_k, b_k} \frac{1}{2} \sum_i [\text{clip}(z_i^\top \beta_k + b_k, L_k, U_k) - y_{ik}]^2 + \frac{\lambda}{2} \|\beta_k\|^2. \quad (2)$$

It is initialized from a ridge fit and optimized by L-BFGS-B for up to 500 iterations. Four penalties, $\lambda \in \{0.1, 1, 10, 100\}$, form the structured candidate set.

The source class is named CensoredStageRegressor. Equation (2), however, is *clipped-output penalized least squares*, not a Tobit likelihood or a fitted probability distribution for censoring. Clipping creates flat regions; the fitting problem is not generally convex and no global fitting certificate is claimed. This wording clarifies the implementation without changing it.

All nine candidates learn from the same historical observations. Each is evaluated by solving three development programmes and scoring their simulated outcomes. Selection is separate within the generic and structured families; it maximizes mean development NPV and does not refit on development or challenge rows. With only three development programmes, selection noise is a material limitation, consistent with established concerns about optimizing finite-sample selection criteria [9]. The structured basis, stage masks, fitting loss and generic search are not matched ablations; no universal architectural superiority follows.

6 The capital-and-capacity integer programme

Let $z_{imt} \in \{0, 1\}$ choose mode m and start t for site i , and let $k \in \{0, 1, 2\}$ count purchased factory cells. There are $24 \cdot 4 \cdot 7 = 672$ binary choices and one integer capacity variable. Let predicted procurement, civil and integration durations be $(\hat{p}_{im}, \hat{c}_{im}, \hat{u}_{im})$ and rework be $\hat{w}_{im}$. Predicted completion is

$$\hat{d}_{imt} = t + \max\{\hat{p}_{im}, \hat{c}_{im}\} + \hat{u}_{im}. \quad (3)$$

Procurement and civil work run in parallel in this stylized critical path; integration follows the slower stage.

For annual net operating cash A_i , horizon $H = 20$ years and $\rho = \log(1.05)$, the discounted continuous-flow approximation is

$$P_i(d) = \frac{A_i}{\rho} \left(e^{-\rho d/12} - e^{-\rho H} \right). \quad (4)$$

All feasible completions lie before the common endpoint. This is not twenty operating years after each project's commissioning. Base capital B_i , mode fee f_m and cell cost $K = 105$ are charged without discounting. Even spending associated with later starts is treated as an upfront deduction. Policy fees are constant within a policy's optimization and are deducted during settlement.

The planner maximizes

$$\sum_{i,m,t} z_{imt} [P_i(\hat{d}_{imt}) - B_i - f_m - \hat{w}_{im}] - Kk \quad (5)$$

subject to

$$\sum_{m,t} z_{imt} = 1 \quad \forall i, \quad (6)$$

$$\sum_{i,m} s_m z_{imt} \leq 4 \quad \forall t, \quad (7)$$

$$\sum_{i,m \geq 2} z_{imt} \leq 4k \quad \forall t, \quad (8)$$

$$\sum_{i,m,t} (B_i + f_m + 60) z_{imt} + 105k \leq 12000. \quad (9)$$

Here $s_m = (1, 1.25, 0.5, 0.75)$. Upper bounds fix $z_{imt} = 0$ before the site's release, and before month 12 for factory modes. The conventional reference additionally fixes all nonconventional modes to zero. There are 39 explicit row constraints: 24 assignments, 14 capacity rows and one cash row.

6.1 What is certified numerically

SciPy's `milp` calls HiGHS with a requested relative MIP gap of 10^{-7} and a 30-second time limit [10]. The wrapper accepts only solver status zero, retains the forecast objective and dual bound, and rechecks choices, slots, cells, release dates and reserved cash. The negated minimization dual bound is an *upper* bound on the maximization objective. The field name is retained in the source; its sign is interpreted correctly here.

These records establish solver-reported numerical optimality within a finite model and tolerance. The separately coded choice checker does not independently prove the branch-and-bound search. No plant certification, full continuous resource schedule or real evidence provenance is implied.

7 What forecast error can—and cannot—change

The feasible set in Equations (6)–(9) depends on declared releases, capacities, capital and a fixed reserve, not on predicted stage durations. Forecast error changes the objective and the selected plan, but not that modeled feasible set. This is a useful separation, and also a limitation: real occupancy and time-dependent cash constraints would usually depend on completion forecasts.

Proposition 1 (Reserve coverage within the declared bounds). *If a plan satisfies Equation (9) and every realized rework cost satisfies $0 \leq w_{im} \leq 60$, its modeled construction expenditure does not exceed reserved cash. This excludes policy fees and any omitted real costs.*

Proof. Replace each realized w_{im} by its upper bound 60 in the expenditure sum. Assignment ensures one term per project; mode and cell fees are unchanged. The resulting sum is exactly the reserve constraint. $\square$

Proposition 2 (A conditional forecast-to-value envelope). *With $A_i > 0$ and nonnegative completion times, the absolute option-value error is bounded by*

$$\epsilon_{im} = \frac{A_i}{12} (\max\{|p_{im} - \hat{p}_{im}|, |c_{im} - \hat{c}_{im}|\} + |u_{im} - \hat{u}_{im}|) + |w_{im} - \hat{w}_{im}|. \quad (10)$$

If the forecast plan is within η of its forecast optimum, its equal-fee regret relative to the true optimum of the same feasible model is at most $2 \sum_i \max_m \epsilon_{im} + \eta$.

Proof. The maximum function is 1-Lipschitz in the sup norm. From Equation (4), $|P'_i(d)| = (A_i/12)e^{-\rho d/12} \leq A_i/12$. The triangle inequality yields Equation (10). Add and subtract forecast objectives at the true and forecast optimizers. The middle difference is at most η ; each of the two prediction-error sums is bounded by $\sum_i \max_m \epsilon_{im}$. $\square$

This elementary bound is conservative and conditional, not a new statistical generalization theorem. A publication-only calculation checks the option envelope and equal-fee regret for 128 frozen policy-programme pairs (FORGE and Beta on all 64 final programmes). It uses retained counterfactual truth, so it is not an online uncertainty certificate. The numerical residual bound is obtained from the saved solver objective and upper bound.

Plugging mean stage predictions into a maximum and an exponential is not equivalent to integrating a predictive distribution through the objective. FORGE models point responses, not that full stochastic decision problem. The hindsight reference uses true synthetic potential outcomes and the same feasible set; its fee equals FORGE's. It is an upper reference for FORGE's modeled NPV, not an unconditional net-value upper bound for a differently priced policy.

8 Comparative Alpha and two kinds of uncertainty

For programme j and policy π , settlement reconstructs completion from the selected mode's synthetic outcomes and computes

$$V_j(\pi) = \sum_i P_i(d_i^\pi) - \left[105k^\pi + \sum_i (B_i + f_{m_i^\pi} + w_{i,m_i^\pi}) \right] - F_\pi. \quad (11)$$

The fee vector is 2, 8, 10, 10 and 10 million CAD for conventional, Beta, FORGE, ancestor and hindsight respectively. Reserve releases are not added as earnings; only actual modeled construction expenditure is deducted.

Competitive Alpha is

$$\alpha_j = V_j(\pi_F) - \max\{V_j(\pi_B), V_j(\pi_L)\}. \quad (12)$$

The maximum is defined within each programme before averaging. In the retained final sample Beta exceeds conventional on every programme, so the reported mean coincides with mean FORGE minus Beta. This equality is a checked property of the sample, not an assumption that either baseline always dominates.

8.1 Refitted cohorts

Each cohort outcome averages eight challenge programmes for its freshly selected pair of models. Within a regime, a Student- t interval uses eight cohort means and seven degrees of freedom. It reflects repeated synthetic sampling, fitting and development selection under the chosen pipeline. Eight refits do not provide a broad external validation of the procedure.

8.2 The frozen final composition

The protocol predesignates trial zero, generation two. A new 64-programme challenge uses seeds 1,800,000–1,800,063, frozen models and a zero superiority margin. This is **not** HELIOS's earlier two-million-per-year practical margin. Four thousand bootstrap samples, seed 1,980,000, resample whole programmes with replacement. Each draw averages the retained α_j and uses percentile endpoints.

Whole-programme pairing preserves the shared project shocks. Cluster-resampling literature motivates respecting dependence rather than treating all sites as independent [11]. The interval is conditional on the fitted composition, known generator, fixed economics and authored intervention effects. It neither repeats model selection nor quantifies uncertainty in construction contracts. It is not a simultaneous guarantee across claims or an independent verifier receipt.

9 Results: a useful frozen specialist, not a universal procedure

The first generation has mean Alpha CA\$4.219 million, an across-refit interval of CA\$0.669 million–CA\$7.769 million, and seven positive trials. G2 has mean CA\$2.795 million, interval CA\$-0.762 million–CA\$6.351 million, and also seven positive trials. The latter interval crosses zero. The full sixteen-row cohort ledger is retained in Appendix C.

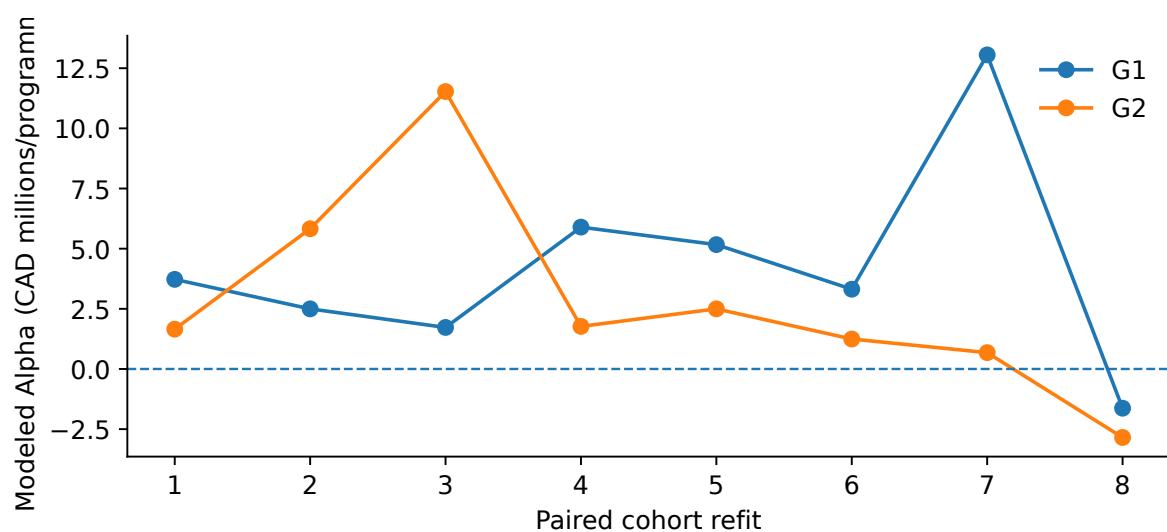


Figure 2. Eight paired refits per regime. Each point averages eight held-out programmes. The negative trials are retained. Values are synthetic programme NPVs, not annual returns.

The final frozen composition produces mean Alpha CA\$5.715 million, with conditional 95% interval CA\$3.666 million–CA\$7.902 million. It wins 44 of 64 programmes; twenty do not win. The local zero-margin test passes. This does not resolve the uncertainty in future G2 refitting.

Table 4. Final frozen challenge. Same 64 programmes; NPV is millions of CAD; completion is months.

Policy	NPV (M CAD)	Months	Sites at 48
Conventional	2,121.355	63.12	3.33
Selected Beta	2,638.507	52.46	9.28
FORGE	2,644.222	52.53	9.25
Unchanged ancestor	2,639.473	52.60	9.19
Perfect information	2,649.282	52.41	9.41

The final mean improvement over conventional delivery is CA\$522.867 million; improvement over the unchanged ancestor is CA\$4.749 million; remaining hindsight regret is CA\$5.059 million. They are different contrasts and are not additive. The narrower Alpha is about 0.217% of Beta's mean programme NPV. Large absolute amounts arise in a capital-intensive scenario, not from a demonstrated universal intelligence multiplier.

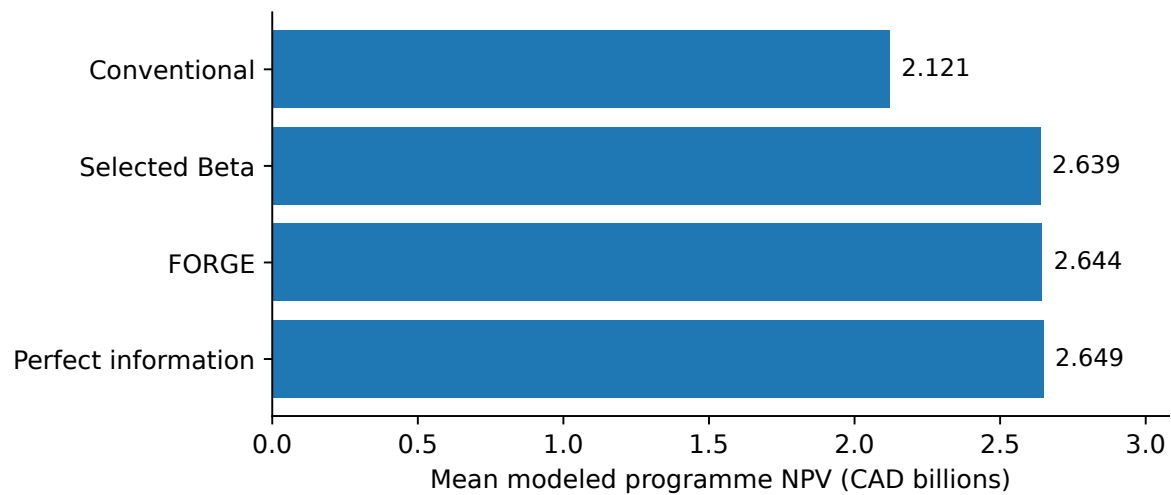


Figure 3. Final challenge values. The scale is modeled 20-year programme NPV. The perfect-information reference is not deployable; the ancestor is the unchanged structured G1 forecaster.

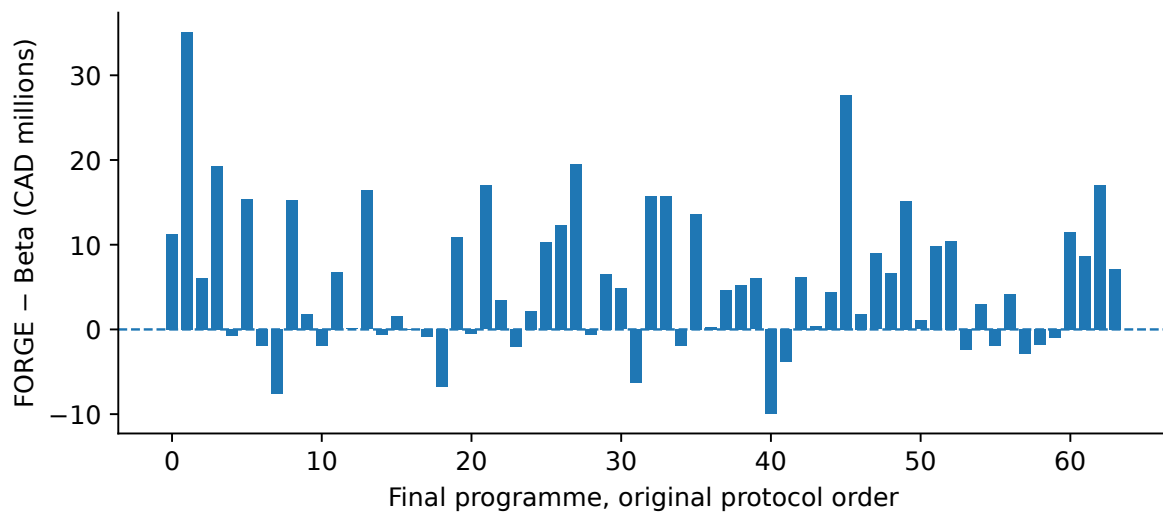


Figure 4. All final programme Alpha values in original protocol order. A positive mean and conditional interval do not remove losing cases. The 64 programmes are alternative simulated instances, not additive revenues.

The original solver count is 1,328: 432 development solves, 576 primary challenge plans and 320 final plans. Replays, stress solves and post hoc capacity options are not added to that primary count. All 896 retained challenge plans are available for inspection.

10 Inside the first retained operating proposal

The first final programme is retained by its protocol order, not because of its payoff. Its proposal buys one factory cell, reserves CA\$10,586,540,000 (rounded to the nearest ten thousand) for construction and rework, and assigns a mode and start to all 24 sites. The actual exact reservation is preserved in the machine-readable report. The operating recipe reads observable signals, base capital, annual cash and release dates; it refuses future outcome fields.

Source indices are zero-based. This paper prints SITE-01 for index zero. The first differing choice is therefore SITE-02: Beta selects factory-qualified delivery at month 12, whereas FORGE selects conventional delivery at month 6. At SITE-03, FORGE selects the integrated factory-and-crew mode at month 24 rather than Beta's conventional mode at month 6. The narrative dossier's isolated "Site 01" reference is corrected to the actual one-based identifier. No decision or result changes.

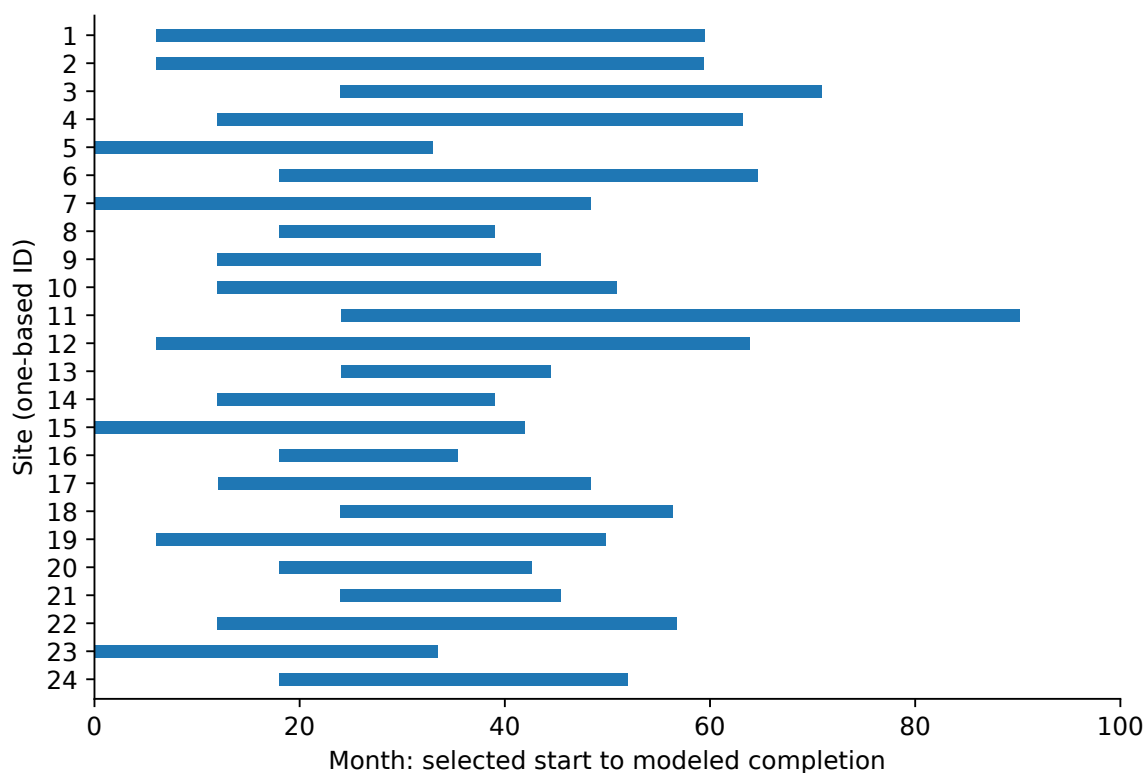


Figure 5. FORGE's first retained programme. Bars show selected start to synthetic completion, not continuous resource occupation. Mode and stage details for all 24 sites appear in Appendix E.

This first programme yields NPV CA\$2848.31 million, versus CA\$2837.01 million for Beta and CA\$2386.87 million conventionally. FORGE has ten campuses operating by month 48, Beta nine and conventional six. FORGE matches the hindsight programme value on this witness, not across the full challenge.

The proposal is a coordinated portfolio choice. Buying factory delivery for every site is not the policy; a late start can be selected when another project has a more valuable claim on a scarce slot. The result should not be read as a recommendation for a real site with the same informal label.

11 Capital attribution: value is not maximum speed

The final Alpha decomposes exactly into

$$\begin{aligned}\bar{\alpha} &= \underbrace{\overline{I_B - I_F}}_{12.618191} + \underbrace{\overline{P_F - P_B}}_{-4.902871} - \underbrace{(F_F - F_B)}_{2.000000} \\ &= 5.715320 \text{ million CAD per programme.}\end{aligned}\tag{13}$$

FORGE saves capital, gives up some discounted operating cash and pays a higher policy allowance. Mean completion is 0.070614 months later than Beta, approximately two days under a calendar conversion. Relative to conventional delivery, it is 10.585631 months earlier. The two comparisons answer different questions.

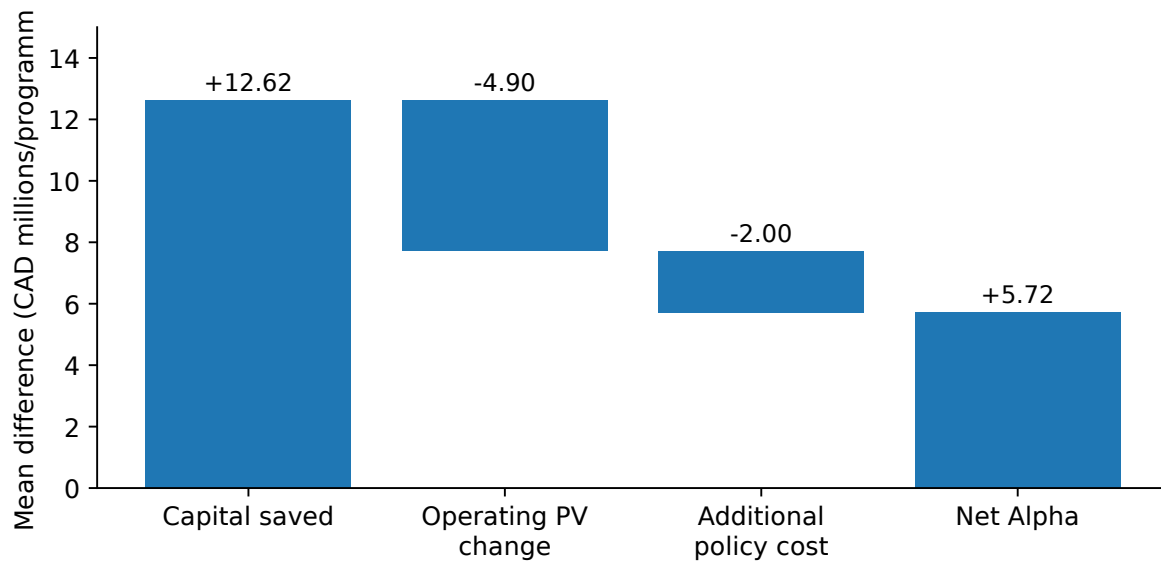


Figure 6. Exact final-challenge attribution. Capital spending avoided is not the full Alpha: reduced operating PV and incremental policy cost must also be charged.

The total modeled gain over conventional delivery includes a strategy change: conventional is denied nonconventional modes, while both Beta and FORGE can buy factory capacity. The gain over Beta is narrower, although not a pure causal ablation of the feature representation or fit objective. Learning design and candidate selection differ together.

A secondary fee diagnostic holds both decisions fixed. Before the extra policy allowance, the mean edge is CA\$7.715 million. An additional FORGE fee over Beta of that size eliminates the point advantage. The translated conditional lower endpoint reaches zero at approximately CA\$5.666 million of additional fee. These thresholds are algebraic consequences of fixed outputs, not acceptable vendor prices or a probability of realized profit.

12 Earlier capacity and the next priced bottleneck

FORGE's mean month-48 count is 9.25 campuses versus 3.328125 conventionally, or 296.094 MW of earlier installed flexible capacity. Over the first 72 months it adds 0.893198 GW-years of capacity availability relative to conventional delivery. Beta is slightly faster still. All alternatives eventually reach the same 24-campus installed base.

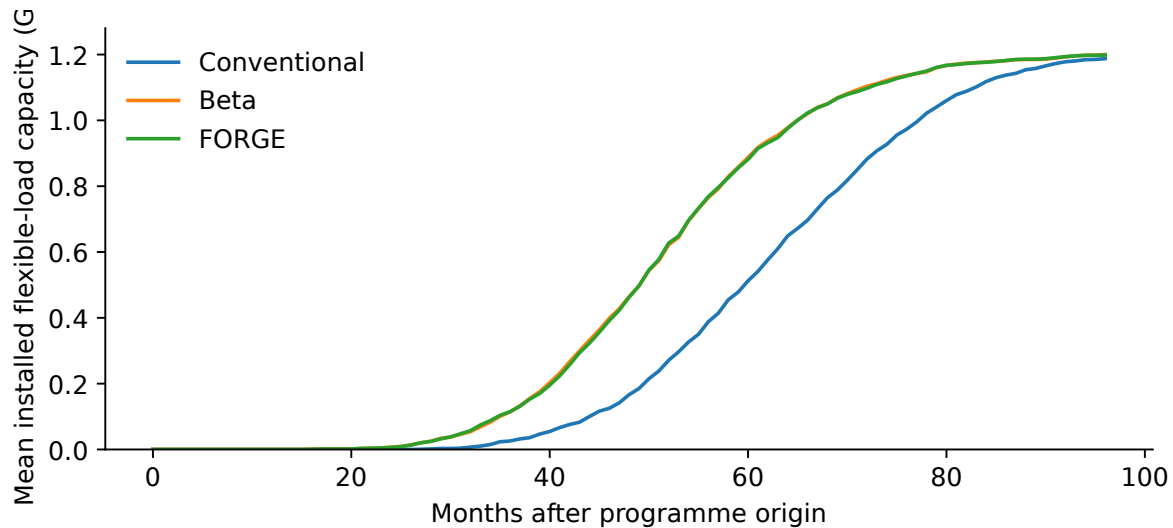


Figure 7. Mean cumulative installed capacity across the final programmes. This is a capacity trajectory under synthetic completion outcomes, not delivered computation, energy consumption or scientific output.

The earlier capsule also prices a post hoc question on the first witness: one or two extra mobilization slots, costing CA\$90,000,000 each. The costs reduce both the construction budget and programme NPV. Four slots yield CA\$2848.31 million; five yield CA\$2963.84 million after the additional fee; six yield CA\$3032.08 million after CA\$180 million of expenditure. The six-slot result is approximately CA\$183.76 million above the original witness after cost.

This is a single-programme sensitivity, not fresh competitive Alpha or proof that the capacity is procurable. It should generate a new evidence obligation: can qualified mobilization actually be delivered at the specified price and date? Industrial supply research spans procurement, manufacturing, materials and workforce constraints [12]; none of those external facts calibrates this simulator.

13 Secondary repricing and decision regret

The publication adds two explicitly post hoc diagnostics without retraining models or changing any retained plan. First, it checks Proposition 2 against the frozen final potential outcomes. All 128 policy-programme envelopes hold under the declared model. The bound is intentionally conservative; passing it does not establish small regret or a real-world confidence band.

Second, a 15-case grid varies the annual discount rate over 0%, 3%, 5%, 8% and 12%, and multiplies the *annual net operating cash* of every site by $q \in \{0.8, 1, 1.2\}$. It does not multiply service revenue alone. Capital, policy fees and schedules remain fixed. At zero discount the continuous-flow limit is $A_i(20 - d/12)$.

At 8% discount and $q = 1$, mean FORGE NPV becomes approximately CA\$-537.89 million, while its relative Alpha remains CA\$6.284 million. Being the better delivery policy does not make the

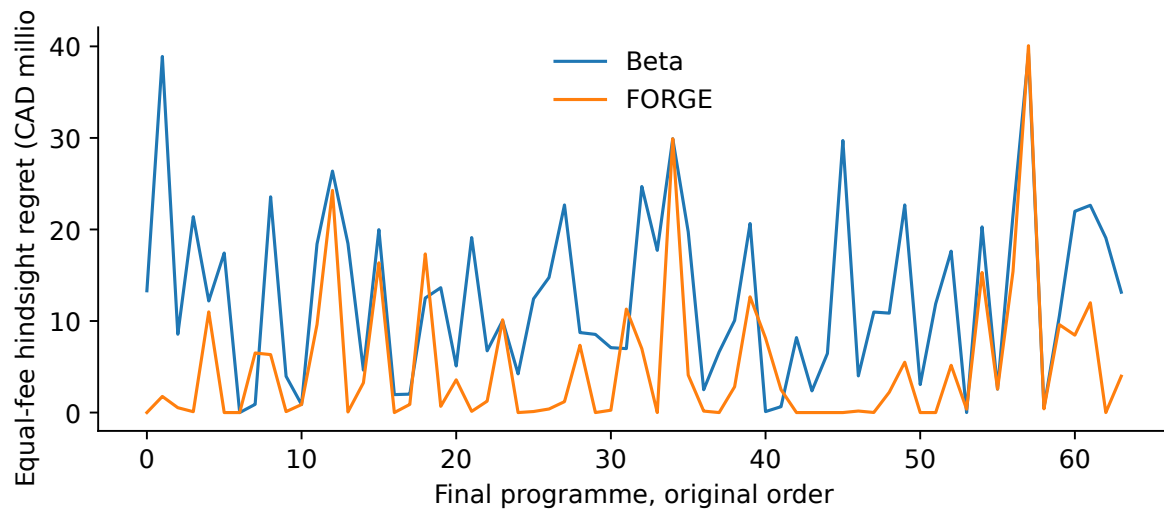


Figure 8. Equal-fee decision regret for the retained Beta and FORGE plans. Policy overhead is removed so the plotted differences reflect selected decisions. Counterfactual truth is available only in the simulator.

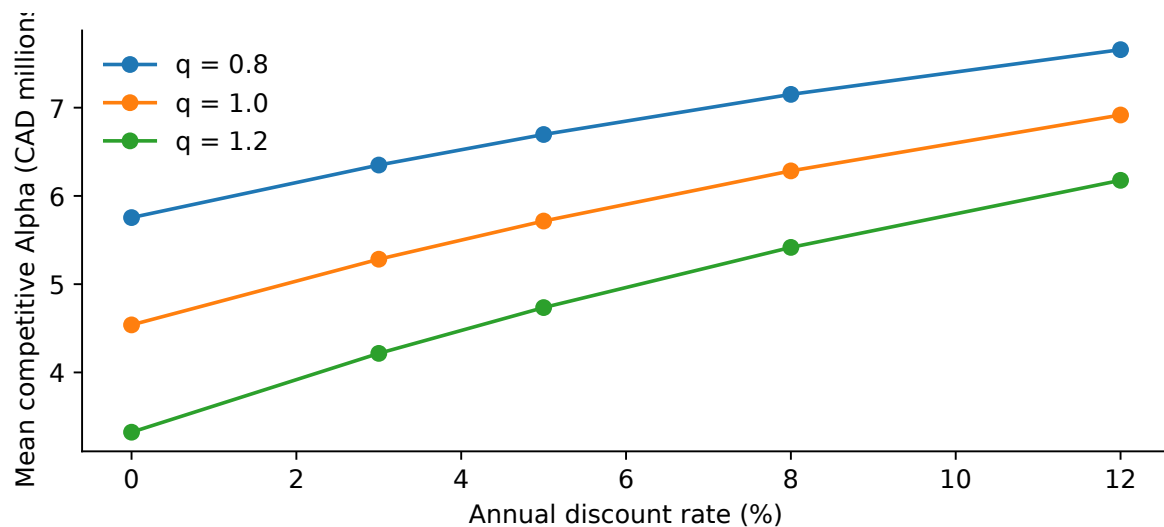


Figure 9. Secondary fixed-plan repricing. Positive relative Alpha can coexist with negative absolute programme NPV. No candidate is reselected and no plan is reoptimized.

underlying committed investment attractive. A true build-or-cancel decision would require a different feasible set and a new experiment. The full grid, including adverse absolute outcomes, appears in Appendix F.

14 Signed succession, evidence custody and authority

The native mission records retain their constitutions, accepted evidence, learned parameters, Chronicle and ancestor binding. The first new mission references HELIOS G2; the second references the first FORGE envelope. FORGE's regime labels G1/G2 therefore correspond to native lineage generations 3/4. The native winners are Conservative Steward and Compact Explorer respectively. Fresh training is not weight transfer from the predecessor.

The implementation uses a self-issued public key and owner label. Signatures bind bytes to that key; a possession challenge tests the ability to use its private counterpart. Digital-signature standards

address modification detection and signatory authentication within their trust assumptions [13]. Here no independent identity authority, legal title, exclusive control, trusted timestamp or performance truth is established. Only the private signing key is encrypted; mission and evidence contents are readable.

The local decision binds exact model and source hashes and denies external effects. Its self-declared A0 state is not a remote enforcement service. A different caller could ignore the record unless a separately controlled gateway enforced it. The paper's verification, source inspection and replays were performed within the same author-controlled workflow, not by an independent institution. [F07–F09]

15 Relation to prior work and limits of qualification

Prescriptive analytics links data to operational decisions [4]; decision-focused methods can train with downstream objectives [3, 5]. FORGE uses a simpler modular pipeline with decision-based model selection. Its contribution is the complete retained mission example and its attribution, not a novel guarantee for clipped regression or integer programming.

Model cards and dataset documentation motivate explicit scope, intended use and limits [14, 7]. FORGE extends the retained record to paid capacity choices, candidate alternatives, signed lineage and separate admission states. That continuity is demonstrated, but its incremental causal value over an equally well-documented Beta-only workflow is not measured. NIST's AI RMF 1.0 provides a lifecycle-risk reference [15]; it does not certify this artifact or define the product's Specialist ASI vocabulary.

15.1 Threats that remain material

Task design. The simulator and engineering basis share an author. Pilot-driven changes favor a contracted portfolio with plausible modelled factory adoption. Signal validity, actual treatment effects and external procurement conditions are not measured. Mode randomization is synthetic, not evidence of industrial causality.

Selection and uncertainty. There are only eight refits per regime and three development programmes per round. The final interval is conditional on one frozen model pair. It cannot repair the uncertain G2 procedure-level interval or represent the best available external specialist.

Physical abstraction. Mobilization and kit use are counted at starts, not throughout work. Cell lead time is exact; factory capacity is uniform; policy fees are allowances. The reserve covers bounded rework, not every industrial cost. There is no permitting, power-flow, workforce-occupancy, interconnection or cyber-physical deployment model.

Capital transport. The analysis has no taxes, debt, demand erosion, default, timing of construction payments or terminal asset sale. Capacity gains are not cash; NPVs are not revenues; commitments are mandatory. The public paper is not a construction investment recommendation.

A real-data acceptance contract—not an executed receipt

Before any operational claim: obtain authorized independently curated evidence; validate the input adapter and delivery-mode effects; freeze the complete planner and strongest feasible comparators; predeclare a practical margin, losses and stop conditions; run supervised shadow proposals; then measure permitted outcomes. Only an accountable owner can subsequently grant bounded effects with revocation. None of those future events is marked completed here.

16 Buying a larger feasible set

EDITION 2 / EXECUTED SECONDARY CAPACITY STUDY / ORIGINAL MODELS UNCHANGED

The earlier witness exposed a larger question than selecting a delivery mode: can the owner buy a better set of delivery possibilities? Edition 2 applies the same priced capacity menu to both frozen forecasters on *all 64 retained final programmes*. It is explicitly post hoc: those programme outcomes were already available. No new training, blind challenge, independent custody or revised primary qualification is claimed.

Each planner chooses among four, five or six mobilization slots per half-year. Extra capacity costs respectively 0, 90 or 180 million CAD, paid once at the programme level. The price is subtracted both from the construction envelope and from NPV. Factory cells, kit capacity, project commitments and policy fees remain unchanged. Procurability at those prices and readiness dates is assumed, not demonstrated. The original four-slot option is retained, so declining the extra purchase remains feasible.

For menu $\mathcal{U}$, capacity choice u , price κ_u and policy s , define

$$(\hat{u}_s, \hat{x}_s) \in \arg \max_{u \in \mathcal{U}, x \in \mathcal{X}_u} \{\hat{J}_s(x) - F_s - \kappa_u\}. \quad (14)$$

Selection uses only forecast value; settlement then uses retained synthetic outcomes. The study executes 384 mixed-integer solves: two policies, three options and 64 programmes. Separately written equations recheck project assignment, availability, mobilization, kit use, construction reserves and settled NPV. [F13]

Proposition 3 (An option is not a guarantee of realized improvement). *If the original no-purchase option belongs to $\mathcal{U}$, the best forecast objective over $\mathcal{U}$ is at least the original forecast objective, to the solver tolerance. This does not imply that the selected plan has greater settled value.*

Proof. The original decision remains a candidate in the outer maximization, establishing the forecast inequality. The maximization uses $\hat{J}_s$, not the unknown settlement function J . Their orderings can differ; therefore the same inequality need not hold after settlement. $\square$

Table 5. Expanded-menu sensitivity on the existing final cohort. Millions of CAD per programme; all purchase and policy costs included.

Policy	Original four-slot NPV	Paid-menu NPV	Own-policy gain
Beta	2,638.507	2,788.151	149.644
FORGE	2,644.222	2,791.263	147.040

FORGE improves on its own four-slot decision by a mean CA\$147.040 million, with conditional interval [CA\$138.892 million, CA\$155.033 million]. Beta improves by CA\$149.644 million. Each policy chooses six slots on 63 programmes and five on one, although that count alone does not establish identical project allocations. Mean extra capacity spending is CA\$178.594 million per policy. FORGE brings mean completion forward by 3.165 months relative to its own original plan. All 64 settled own-policy gains are positive in this sensitivity; the general guarantee remains only the forecast statement above.

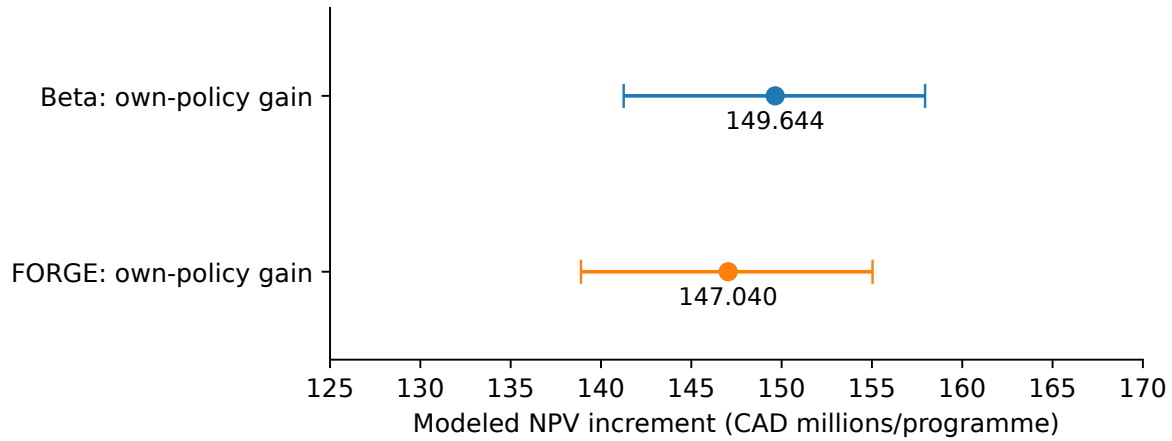


Figure 10. Buying capacity is valuable for both frozen models in this secondary scenario. The plotted increments compare each model with its *own* original four-slot policy; they are not competitive Alpha and must not be attributed exclusively to FORGE.

16.1 The competitor can buy the same improvement

Let $G_s = V_s(\mathcal{U}) - V_s(u_0)$ be the menu gain over the original option. For the same two policies,

$$\alpha\mathcal{U} - \alpha_0 = G_F - G_B. \quad (15)$$

Thus a very large improvement in absolute programme value can coexist with a smaller comparative advantage. Here Beta captures CA\$2.603 million more menu benefit on average. FORGE's mean Alpha against the menu-enabled Beta is CA\$3.112 million, with conditional paired-programme interval [CA\$1.026 million, CA\$5.202 million], positive on 36/64 programmes. It is not the original CA\$5.715 million result and is not added to it.

The important institutional response is to retain the larger opportunity *and* narrow the superiority claim. A capital owner gains no useful knowledge from pretending that an available factory or mobilization option is inaccessible to a serious competitor. When the feasible set changes, the comparison must change with it.

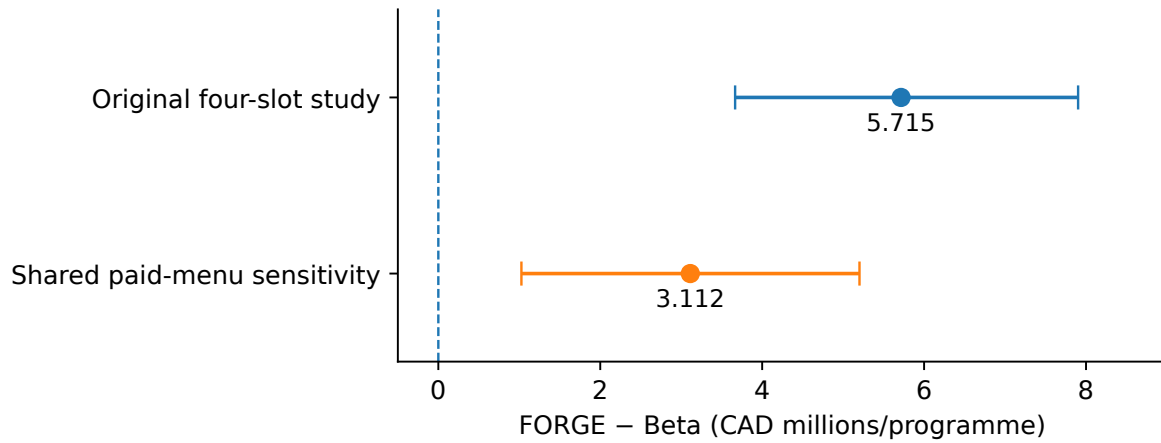


Figure 11. The original primary comparison and the new shared-menu sensitivity answer different questions. The original interval uses its original seed; the menu interval uses the secondary protocol's seed. Both condition on retained synthetic programmes, fitted models and fixed economics.

17 The advantage-to-capital frontier

EDITION 3 / EXECUTED FIXED-RECORD SENSITIVITY / NO NEW QUALIFICATION SAMPLE

The economic question changes when a useful specialist becomes a proposed institutional asset. A buyer must ask not only whether an observed synthetic contrast is positive, but how much of its pre-fee advantage must survive imitation, implementation friction or domain mismatch before the additional cost is justified. These mechanisms are not measured here. Edition 3 therefore constructs an explicit *assumption frontier*, rather than silently calling the original point estimate durable wealth.

Let $d_i = V_{F,i} - V_{B,i}$ be a retained programme's net comparison and let $h_0 = 2$ denote the original incremental policy cost, in millions of CAD. The pre-fee difference is $g_i = d_i + h_0$. Introduce a declared retention factor $q \in [0, 1]$ and a total incremental policy allowance $h \geq 0$:

$$d_i(q, h) = qg_i - h, \quad \bar{\alpha}(q, h) = q\bar{g} - h. \quad (16)$$

The original case is $(q, h) = (1, 2)$. The same transformation scales *both favorable and unfavorable* pre-fee differences. It is not a probability of success, a model of selective error correction, or an empirical description of competitors. The decisions, construction plans, project contracts and fit parameters stay fixed.

Proposition 4 (Conditional affine frontier). *For paired bootstrap draws of the same programme mean, let $[L_0, U_0]$ be the retained interval for d_i under h_0 . For $q \geq 0$, the transformed percentile interval is*

$$[L(q, h), U(q, h)] = [q(L_0 + h_0) - h, q(U_0 + h_0) - h]. \quad (17)$$

For a positive denominator, the conditional lower endpoint is positive exactly when $q > h/(L_0 + h_0)$; equality gives zero.

Proof. Every resampled mean is transformed by the same nondecreasing affine function. For $q > 0$, its percentile order is preserved; for $q = 0$, all draws equal $-h$. Solving the lower-endpoint inequality gives the threshold. This is an accounting identity conditional on the original resampling design, not a new coverage theorem. $\square$

Table 6. Retention thresholds at the original CA\$2 million incremental policy allowance. Decimal fractions; secondary diagnostics on the same 64 programmes.

Quantity	Original menu	Expanded menu
Mean pre-fee edge, million CAD	7.715	5.112
Point-estimate break-even q	0.2592	0.3912
Conditional lower-endpoint break-even q	0.3530	0.6609
Net mean at $q = 0.5$, million CAD	1.858	0.556
Conditional lower endpoint at $q = 0.5$	0.833	-0.487

The expanded capacity menu raises both firms' absolute programme value, yet leaves less comparative headroom. At half the assumed pre-fee difference, the original comparison retains a positive conditional lower endpoint, while the expanded-menu comparison does not. This finding does not invalidate the capacity purchase: the purchase's own economic gain and the specialist's comparative margin are different decisions.

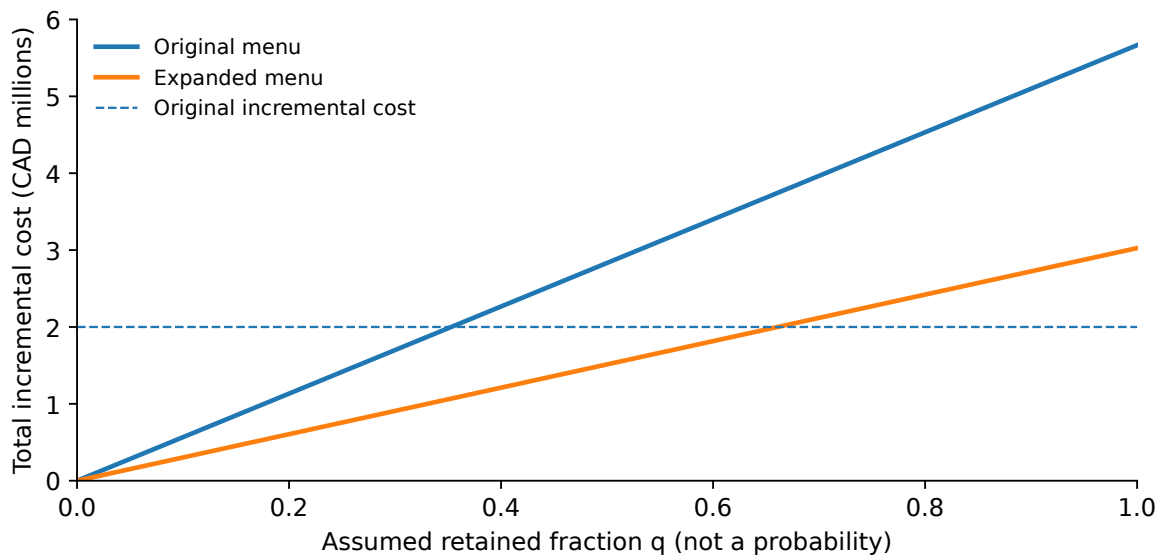


Figure 12. The total incremental policy cost supported by a positive conditional lower endpoint, as an assumed fraction of the pre-fee difference is retained. These lines transform existing bootstrap intervals; they are neither real-world profitability forecasts nor simultaneous confidence guarantees across the grid.

The delivered analysis evaluates 8,262 regime–retention–cost combinations. It numerically reconciles the original means and intervals, verifies affine quantiles against direct resampling and preserves each programme's attribution identity. The two source regimes keep their original bootstrap seeds. The grid adds no independent observations and must not be counted as thousands of new experiments. [F14]

17.1 A large productive opportunity is not automatically a proprietary moat

The original mean advantage is approximately 0.217% of Beta's modeled NPV; the expanded-menu advantage is approximately 0.112%. These ratios contextualize scale, not a return on the retail software price. The owner must separately estimate the cost of obtaining the evidence, maintaining the intervention, responding to competitors and governing the institution. None of those uncertainties is eliminated by a signature or by possession of the model file.

Nor is q an estimated persistence law. Choosing a favorable value after inspecting this figure would not constitute underwriting. A real proposal must specify a conservative, evidence-supported range in advance, test the full composition against current feasible alternatives and price any additional operating obligations. A prospective lower margin δ changes the acceptance expression to $q(L_0 + h_0) - h > \delta$, but does not repair synthetic domain validity.

18 A purchasable capability needs a delivery case

The capacity-menu experiment assumes that qualified extra mobilization can be bought at the quoted synthetic price and becomes usable when required. The next mission is to test that assumption. The financial value of a planner that exploits unavailable capacity is not spendable wealth.

For a deliberately simple *prospective* two-state account, let G be the menu's incremental NPV when the promised capacity is delivered; let K be its acquisition price; and let $a \in [0, 1]$ be the fraction of that price lost if delivery fails. Let p be an *assumed*, not estimated, success probability. Suppose failure recovers the original operating plan without further delay or damage. Then

$$\mathbb{E}[\Delta V] = pG - (1 - p)aK, \quad p_{BE} = \frac{aK}{G + aK}. \quad (18)$$

Failure recovery is an especially strong simplifying assumption; actual replacement, delay, recertification and consequential losses would need their own terms. Expected value is not a liquidity reserve and does not establish acceptable downside risk.

Using the retained mean FORGE menu gain $G = 147.040449$ and mean purchase price $K = 178.59375$ million CAD, the fully at-risk scenario requires $p > 0.548449$ for positive mean value. At an assumed $p = 0.5$, it loses approximately CA\$15.777 million; at $p = 0.75$, it gains approximately CA\$65.632 million. These are illustrative conditional calculations, not measured supplier reliability. The scenario averages programme values before applying a common assumed p ; it does not certify any individual project.

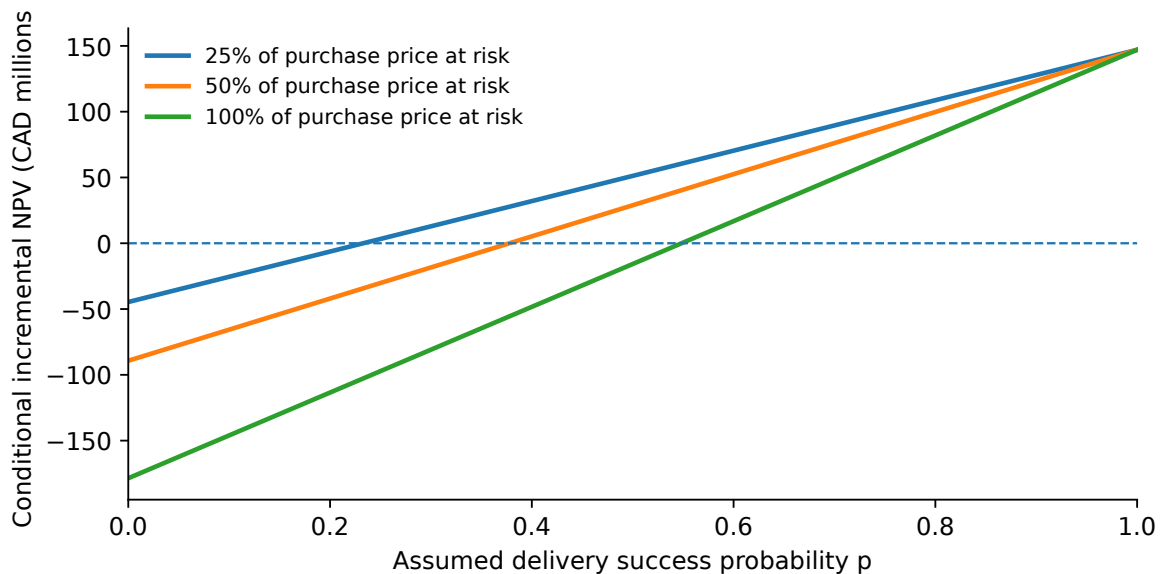


Figure 13. Assumed delivery success and capital at risk. The curves hold the previously modeled successful-delivery gain fixed and assume recovery of the original plan after failure. Actual loss severity, delivery dependence and delay are not estimated.

The procurement question that deserves funding

Can a named provider deliver the promised qualified capacity, in the required units, at the critical dates, for an enforceable total cost and an acceptable failure remedy? The answer requires authorized engineering evidence, commercial due diligence and accountable contracting. FORGE generates the question and a benchmark; it does not answer it by declaring a field `qualified=true`.

19 The institutional investment certificate

PROSPECTIVE OPERATING CONTRACT / NO CAPITAL OR PRODUCTION AUTHORITY GRANTED

A usable institution should deliver a compact decision certificate, not a persuasive chart detached from its obligations. The following record is an executable-design contract for future implementation. It is not a new certificate of the current simulation's independence.

Table 7. A decision certificate for the next capacity mission. The present case supports local computation only.

Field	Required binding or decision
Mission	Outcome, units, population, horizon and accountable owner.
Composition	Input adapter; feature contract; exact model; solver; guard; cost ledger; dependencies.
Alternatives	No-purchase option and strongest feasible same-information comparator; shared capacity menu.
Economic margin	Total costs, predeclared practical superiority margin and a separately justified downside test.
Procurement	Named capacity, price, lead time, qualification, throughput and failure remedies.
Liquidity	Funding source, dated payments, reserves and approved financing; NPV is not a receipt.
Evidence custody	Frozen candidate, independently held challenge and authenticated origin; signatures alone are insufficient.
Authority	Permitted effect, duration, countersignature, stop conditions, rollback and revocation.

A proposed admission predicate is the conjunction of evidence-validity, comparative-margin, physical-deliverability, liquidity and authorization conditions. A failed or unknown condition leaves consequential authority unset. A successfully trained successor re-enters this predicate; it does not inherit the prior decision. The same rule applies when the input adapter, price, capacity menu or deployment code changes even if neural weights do not.

The package's new offline decision laboratory makes the *conditional accounting* inspectable. It changes the retention, cost and delivery assumptions, recomputes the equations and exports the selected assumptions. It does not fit a model, optimize a revised construction plan, validate a supplier or issue authority. This is a research instrument for reviewing the capital case, not a substitute for the missing external evidence.

20 The productive institution that can compound

PROSPECTIVE SYNTHESIS / NO EXTRAPOLATED FINANCIAL FORECAST

The long-horizon contribution is a repeatable research-and-capital loop. HELIOS asks how to operate energy and compute assets. FORGE asks how to deliver a committed expansion. A subsequent mission can examine the factory, grid, materials or commissioning constraint that the current plan exposes. Each validated improvement can leave behind both productive assets and an inspectable method for replacing the specialist that found it.



Figure 14. A portfolio of qualified missions, not automatic model-driven growth. The lower loop is prospective; no real cash flow, external qualification or off-world programme is executed here.

The institution is therefore not required to keep a single prediction model indefinitely. It retains mission contracts, rejected hypotheses, qualified tools, source provenance, failure conditions and permissions while selecting the best supported capability for the next constrained task. This is the proposed durable asset. Its incremental causal return relative to a competently governed Beta institution is not measured by the present experiment.

20.1 Cash, knowledge and installed assets are different state variables

A possible future accounting state is $(B_t, K_t, \mathcal{E}_t)$: unrestricted cash, installed productive assets and retained evidence. Let R_t be actual operating receipts, O_t cash operating costs, L_t other mandatory cash outflows, D_t owner distributions, H_t research expense, I_t paid investment and F_t separately recorded external financing. Then

$$B_{t+1} = B_t + R_t - O_t - L_t - D_t - H_t - I_t + F_t, \quad B_{t+1} \geq B_{\min,t+1}. \quad (19)$$

A discounted NPV does not appear as a cash inflow in this equation. Neither a reserve release nor a model score creates a second receipt. External capital must be recorded explicitly rather than attributed to operating Alpha.

For asset class k , delivery occurs only after its applicable lead time:

$$K_{k,t+1} = (1 - \delta_k)K_{k,t} + Y_{k,t-\tau_k}, \quad 0 \leq Y_{k,t} \leq \min\{\bar{Y}_{k,t}^{\text{factory}}, \bar{Y}_{k,t}^{\text{material}}, \bar{Y}_{k,t}^{\text{energy}}, \bar{Y}_{k,t}^{\text{commissioning}}\}. \quad (20)$$

Every upper bound must use compatible output units and its own evidence. Equation (20) is a prospective planning discipline, not a fitted growth law. It prevents capital availability from being mistaken for unlimited construction capability.

Research changes what can be known and attempted; it does not authorize effects by itself. A future experiment should measure whether retained evidence reduces requalification time, avoids

a bad capacity purchase, or improves useful output. Those outcomes should be compared against the same capable models without the proposed institutional additions. The economic value of governance must be earned in that comparison, not assumed.

21 When productive advantage can finance expansion

FINAL AUTHOR EDITION / CONDITIONAL ANALYTICAL BRIDGE / NOT A GROWTH FORECAST

The strongest long-horizon proposition is not that a large NPV can be repeatedly multiplied. It is that retained intelligence may improve an actual operating margin, that realized margin may finance a delivered asset, and that the new asset may enlarge the next research opportunity. The chain fails if any of those translations is merely assumed. Equations (19)–(20) therefore remain the controlling accounts.

21.1 A minimal productive-reproduction condition

To expose the mechanism without pretending to estimate it, consider one homogeneous asset class. Let K_t be installed capacity at the end of period t , $s > 0$ realized net cash per capacity unit per period after mandatory operating and research outflows, $c > 0$ fully paid acquisition cost per delivered capacity unit, $0 < \rho \leq 1$ the reinvested share, and $0 \leq \delta < 1$ the capacity loss fraction per period. Let $\tau \geq 0$ be an integer lead-time index: an order funded from period $t - \tau$ is commissioned at the end of period $t + 1$. None of these parameters is estimated by FORGE.

Under constant returns, no borrowing, no separate fixed outlays, complete procurement success and no binding physical ceiling, the idealized recurrence is

$$K_{t+1} = (1 - \delta)K_t + gK_{t-\tau}, \quad g = \frac{\rho s}{c}. \quad (21)$$

The cash investment is $\rho s K_{t-\tau}$, not the present value of a forecast. A common inherited asset base must be used when comparing two institutions. Better forecasting, lower procurement cost or faster delivery can change the parameters only after those changes have been measured and charged their costs.

Proposition 5 (Expansion requires more than a positive accounting advantage). *For $g > 0$ and $0 \leq \delta < 1$, the dominant positive characteristic factor of (21) is the unique $\lambda > 1 - \delta$ satisfying*

$$\lambda^\tau (\lambda - (1 - \delta)) = g. \quad (22)$$

It exceeds one if and only if $g > \delta$. When $g > \delta$, a larger delivery lag lowers λ , and $1 < \lambda \leq 1 - \delta + g$.

Proof. On $\lambda > 1 - \delta$, the left side of (22) is continuous, strictly increasing, starts at zero and diverges. Its value at one is δ , giving the threshold. For any complex characteristic root z , the triangle inequality gives $|z|^{\tau+1} \leq (1 - \delta)|z|^\tau + g$; monotonicity then implies $|z| \leq \lambda$. For a root above one, increasing τ increases the left side at fixed λ , so the new root is smaller. Finally, $\lambda = 1 - \delta + g/\lambda^\tau \leq 1 - \delta + g$. $\square$

This is an elementary conditional recurrence, not a new empirical law or a valuation formula. A policy can beat its comparator yet fail $\rho s/c > \delta$ once its actual receipts, replacement needs and acquisition costs are admitted. Conversely, both institutions can expand while the incremental contribution of the specialist remains small. Relative Alpha and absolute productive reproduction answer different questions.

21.2 Physical bottlenecks stop unconstrained compounding

If delivered output per period is bounded by $\bar{Y}$, then

$$K_{t+1} \leq (1 - \delta)K_t + \bar{Y} \implies K_t \leq (1 - \delta)^t K_0 + \frac{\bar{Y}}{\delta} [1 - (1 - \delta)^t], \quad \delta > 0. \quad (23)$$

Repeated substitution proves the geometric bound. For $\delta = 0$, the corresponding bound is $K_t \leq K_0 + t\bar{Y}$. A financial edge cannot defeat a fixed production ceiling. The next useful mission must either improve a binding physical capability, reduce losses, shorten a measured lead time or change the economic objective. The capital menu in Section 16 is a small executed synthetic example of paying to enlarge a constraint rather than wishing it away.

With several scarce inputs, a compatible production account has $AY_t \leq b_t$, where each row of A converts delivered outputs into a specified material, energy, manufacturing or commissioning requirement. Free cash alone does not make this inequality feasible. Likewise, a mixed-integer capacity purchase does not generally have a smooth marginal price: the relevant quantity is a priced finite change in a complete feasible plan, compared with the same option offered to a serious alternative.

21.3 A sequence of missions, not an extrapolated victory

Table 8. A proposed research sequence. Only the bounded HELIOS/FORGE computations described in the retained artifacts have been executed. Each further rung requires new evidence.

Mission	Useful output to measure	Evidence before capital or authority
Operating assets	Completed useful work per total operating cost	Actual settlements, service quality and a matched operating baseline
Manufacturing	Qualified units delivered per constrained input	Measured yield, throughput, lifetime and procurement readiness
Construction	Commissioned productive capacity per paid programme	Full engineering, cash timing, permits and acceptance tests
Research systems	Reproduced discoveries or validated designs	Independent replication and downstream utility, not output volume
Remote industry	Usable resources and assemblies at destination	Extraction, transport, assembly, thermal and reliability tests
Large-scale energy	Useful delivered power within a finite source budget	Geometry, conversion, mass, heat rejection and sustained operation

The institution's strategic purpose is to carry the method across those transitions: exact mission contracts, effective tools, failed approaches, comparison costs, custody and revocable permissions. A specialist need not be universally superior to contribute; it must earn a bounded advantage at the active bottleneck. The ambition is a continuing productive research organization whose next mission is selected from evidence, not a claim that one four-stage forecaster already performs every task.

22 An ambitious horizon with a physical ledger

CONDITIONAL RESOURCE DIMENSIONS / NO ENGINEERED DEPLOYMENT OR TIMELINE

Large-scale energy, manufacturing and computation can be connected as a sequence of research missions, not as an unconstrained compound-interest curve. NASA treats in-space servicing, assembly and manufacturing as capabilities that can change how space systems are maintained and constructed [16]. That background motivates a future capability class; it does not validate FORGE's models outside their synthetic construction task.



Figure 15. Conceptual artwork generated for this edition. Imagined large-scale infrastructure is an orientation for future research, not a simulated facility, engineering design, numerical result or forecast.

For an idealized solar-electric collector, let P_e be useful electrical power, η conversion efficiency, I incident irradiance and f the intercepted fraction of a star's radiation. Necessary resource identities are

$$A_{\text{collect}} = \frac{P_e}{\eta I}, \quad A_{\text{rad}} = \frac{P_{\text{heat}}}{\epsilon \sigma (T^4 - T_{\text{bg}}^4)}, \quad P_e \leq \eta f L_{\star}, \quad 0 \leq f \leq 1. \quad (24)$$

Use $I = 1361 \text{ W m}^{-2}$ and nominal $L_{\star} = 3.828 \times 10^{26} \text{ W}$ as standardized solar reference quantities [17]. They are reference conversions, not evidence that a collector can be fabricated. The value $\sigma \simeq 5.670374419 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ comes from NIST [18]. The following scenario additionally assumes $\eta = 0.30$, $\epsilon = 0.9$, $T = 340 \text{ K}$, $T_{\text{bg}} = 3 \text{ K}$ and $P_{\text{heat}} = P_e$.

Table 9. Conditional physical account. Collector area is normal projected area at the reference irradiance; radiator area is effective emitting area. No deployment costs, dates or feasibility claims are inferred.

$P_e \text{ (W)}$	$A_{\text{collect}} \text{ (km}^2\text{)}$	$A_{\text{rad}} \text{ (km}^2\text{)}$	f_{min}
10^{12}	2.449×10^3	1.466×10^3	8.708×10^{-15}
10^{18}	2.449×10^9	1.466×10^9	8.708×10^{-9}
10^{24}	2.449×10^{15}	1.466×10^{15}	8.708×10^{-3}
10^{26}	2.449×10^{17}	1.466×10^{17}	8.708×10^{-1}

At one terawatt, the ideal collector and radiator surfaces are approximately 2,449 and 1,466 square kilometres respectively. At 10^{26} W of useful electric power, the required intercepted share is about 87.1% under the assumed 30% conversion. This approaches a finite source-energy constraint;

it is not an extrapolatable terrestrial surface installation. Packaging, shading, orbit dynamics, resource mass, conversion waste heat, radiation exposure, communications, maintenance and self-heating are unmodeled. The radiator account covers only the stipulated electrical dissipation, not all collector losses. Figure 16 varies radiator temperature as a separate assumption; material endurance and useful computation at those temperatures are not established.

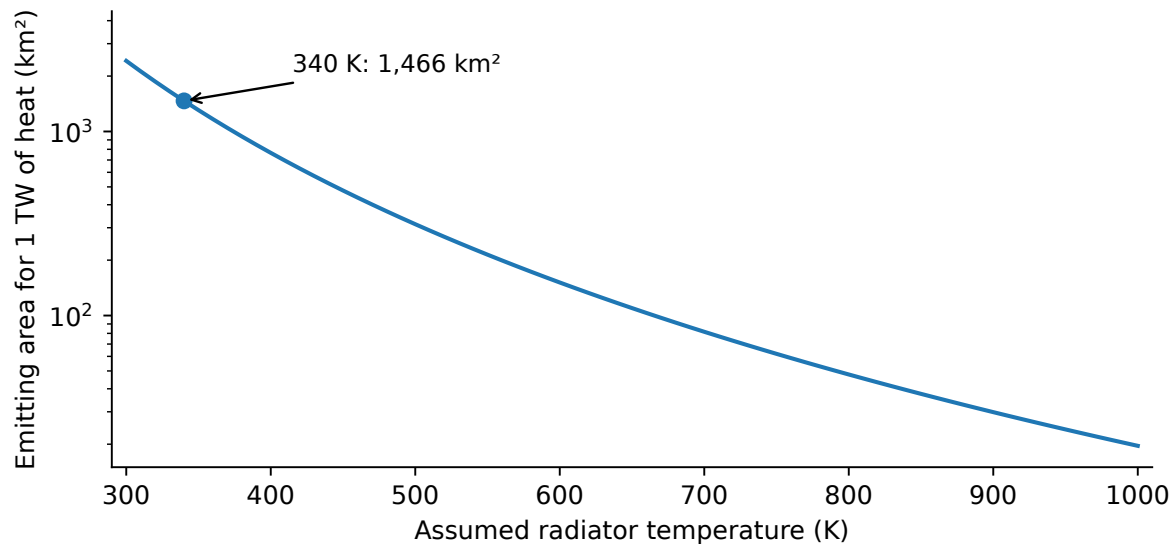


Figure 16. Ideal radiator area at a fixed one-terawatt heat load under alternative assumed temperatures. The logarithmic area axis reveals a thermal-design trade-off, not an attainable temperature specification or a demonstrated technology.

A useful long-horizon institution would commission and requalify specialists in extraction, materials, fabrication, assembly, thermal management and reliability. It would fund them from recorded capital and measured operating results, with explicit authority boundaries. This paper executes none of those future physical programmes. It supplies a bounded, inspectable example of the decision discipline that such programmes would need: **make each proposed expansion a priced, testable and replaceable mission.**

23 Conclusion

FORGE demonstrates a technical owner retaining an institution for converting capital into modeled productive capacity. A learned four-stage specialist and a common integer planner generate a positive fixed-model competitive result, while the broader G2 refit claim remains uncertain. The better capital outcome is not the fastest schedule. The cost bridge, complete losing cases, exact option contracts and separate authority record make that distinction inspectable.

The shared-menu extension makes the next lesson concrete: buying capacity can create a large modeled programme improvement available to both competitors, while narrowing the specialist's own Alpha. A productive institution must preserve that distinction. Its horizon is a succession of measured operating improvements, priced capacity changes and separately qualified physical capabilities. The enduring contribution is not a claim to have completed that horizon. It is an executable beginning and a disciplined way to keep extending it: preserve the mission, price the bottleneck, compare complete alternatives and qualify the next capacity.

A Exact synthetic response and economic generator

The original `lab.py` is the executable specification. The following formulas make the information contract inspectable without running it. Write the signals as $x = (e, s, v, c, k, q, l, i, d, w)$ in the order given in Section 4. Let $f = \mathbf{1}\{m \geq 2\}$ denote factory treatment and $t = \mathbf{1}\{m \in \{1, 3\}\}$ reinforced crews. The letter t in this appendix is an indicator, not the start month used elsewhere. All ten raw features initially follow independent $U(.05, .95)$ draws. Readiness is then replaced by $U(.4, .98)$ and crew experience by $U(.2, .98)$. In G2, supply pressure is replaced by $U(.3, .99)$ and interface complexity by $U(.35, .99)$. The unbounded G1 stage means are

$$\begin{aligned} \mu_P = & 8 + 17s + 8l + 15sl + 8(s - .65)_+^2 \\ & + f\{6 - 21v - 17vs + 8(1 - v)s\}, \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} \mu_C = & 7 + 13c + 8w + 10cw + 8(1 - e)i \\ & + t(2 - 9k - 5kq) + f(3 - 10v), \end{aligned} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} \mu_I = & 4 + 8i + 7(1 - q) + 10i(1 - q) \\ & + f(3 - 10vq) + t(2 - 9kq) - 3ftvq, \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} \mu_R = & 5 + 16i(1 - q) + 10(1 - e)i + 4wc \\ & + f(4 - 15vq) + t(2 - 7kq). \end{aligned} \quad (28)$$

G2 adds $7(s + i - 1.2)_+ + f\{4s(1 - v) - 5vq\}$ to procurement, $5i(1 - q) - 2ftkq$ to integration, and $5(1 - e)i + 3s(1 - v) - 3ftvq$ to rework. Civil means are unchanged, although their input distribution may change through i .

For historical projects, one mode is assigned uniformly. Each block of 20 projects shares a Gaussian stage shock with standard deviations (1, 1, .6, 1). Independent project shocks have standard deviations (1.3, 1.3, .8, 1.8). Evaluation programmes instead share a programme shock with standard deviations (1.6, 1.6, 1, 1.6); site shocks use (1.3, 1.3, .8, 1.8) and are repeated across the four modes. The resulting potential outcomes are clipped componentwise to

$$(P, C, I, R) \in [2, 70] \times [2, 70] \times [1, 35] \times [0, 60].$$

The shared counterfactual shock is an authored coupling assumption, not a measured causal property of construction treatments.

Base capex in millions of CAD is $B_i = 320 + 60c_i + 20i_i$. Annual net operating cash in the same units is

$$A_i = 10^{-6} [500(1 + .20d_i) 600\,365 - 64407.32036237102\,365 - 12 \times 10^6 - .08(350 \times 10^6)]. \quad (29)$$

This is assumed service contribution minus common energy, staff and renewal allowances. No terminal asset sale, debt, tax, demand erosion or future technical change is modeled. Construction and rework are charged at undiscounted face value in the objective even when the site starts later; the calculation is not a detailed drawdown schedule. The reserve is a cash constraint, not another expense in NPV.

A.1 Seeds and observation roles

For zero-indexed trial $j \in \{0, \dots, 7\}$ and regime $g \in \{1, 2\}$, set $s_{jg} = 900000 + 10000j + 1000g$. The historical cohort uses s_{jg} ; the three development programmes use $s_{jg} + 100, \dots, +102$; the eight primary challenges use $s_{jg} + 200, \dots, +207$. Final programme seeds are 1800000, $\dots$, 1800063. The final paired bootstrap uses seed 1980000 and 4,000 draws. Dataset hashes and exact selected-model identities accompany the source capsule. [F01–F04]

B Feature map and complete fitting specification

The generic representation consists of the ten signals and f, t, ft , giving 13 dimensions. Degree-two polynomial expansion without an added bias produces 104 columns. The structured map contains the following 39 columns, retained even when a feature has no exact counterpart in the simulator's mean function:

$$\begin{aligned}\phi_P &= [s, l, sl, (s - .65)_+^2, f, fv, fvs, f(1 - v)s, (s + i - 1.2)_+, fvsq, f(1 - v)l], \\ \phi_C &= [c, w, cw, (1 - e)i, t, tk, tkq, f, fv, fvsq], \\ \phi_I &= [i, 1 - q, i(1 - q), f, fvsq, t, tkq, ftvsq, ftkq], \\ \phi_R &= [i(1 - q), (1 - e)i, wc, f, fvsq, t, tkq, s(1 - v), ftvsq].\end{aligned}$$

Training-only means and scales normalize all columns. Each output uses only its declared stage block: 11, 10, 9 and 9 slopes plus four intercepts, or 43 fitted free coefficients. The JSON stores a dense 4×39 coefficient array containing explicit masked zeros; 156 stored entries do not imply 156 freely fitted slopes.

Table 10. Complete candidate grid per regime and trial. No candidate is refitted on development outcomes.

Candidate family	Fitting specification
Raw ridge	Standardized 13 features; regularization 1 or 100
Polynomial ridge	Degree 2; 104 features; standardized; regularization 10
Extra trees	80 trees; minimum leaf size 3; all features; seed 71; one worker
Histogram boosting	Four output fits; 100 iterations; 15 leaves; L2 3; minimum leaf 16; no early stopping; seed 72
Structured clipped ridge	Four stage masks; regularization .1, 1, 10, 100; clipped-output squared loss plus slope penalty

The structured fitter initializes from ridge regression, then applies L-BFGS-B with at most 500 iterations, objective tolerance 10^{-11} and gradient tolerance 10^{-6} . Clipping introduces flat regions and prevents a general convexity or global-training-optimum claim. The source class is named `CensoredStageRegressor`; it does not fit a censored-data likelihood and is not a Tobit estimator. All selected stage fits in the fresh publication refit report successful numerical termination, which is not a global-optimum certificate.

Generic fits use scikit-learn's estimators [8]. The structured forecaster and generic exporter are customer-authored additions. Development selection solves three programme allocations for each candidate and averages their realized synthetic NPV within each family. With 16 rounds and nine candidates, this yields 144 fits and 432 development solves. There are only three development programmes per selection: the later large final challenge does not eliminate this selection uncertainty [9].

C All paired cohort outcomes

The complete primary refit ledger is shown below. Alpha and perfect-information regret are mean programme NPV differences in millions of CAD on eight challenge programmes. The numeric trial labels are one-based here; source directories T00–T07 are zero-based. The selected specialist's regularization is λ .

Table 11. All sixteen fitted-cohort outcomes. Negative comparisons remain visible.

Trial / regime	Selected Beta	λ	Alpha	Regret
1 / G1	histgb	0.1	3.724	6.865
1 / G2	poly_ridge10	0.1	1.653	4.227
2 / G1	histgb	100	2.498	8.701
2 / G2	poly_ridge10	10	5.828	9.326
3 / G1	histgb	0.1	1.726	16.001
3 / G2	histgb	0.1	11.531	2.093
4 / G1	poly_ridge10	0.1	5.895	6.599
4 / G2	poly_ridge10	0.1	1.769	1.730
5 / G1	poly_ridge10	100	5.168	10.948
5 / G2	histgb	100	2.498	6.799
6 / G1	histgb	0.1	3.315	8.206
6 / G2	histgb	0.1	1.245	1.169
7 / G1	histgb	0.1	13.054	12.978
7 / G2	poly_ridge10	0.1	0.679	1.099
8 / G1	poly_ridge10	100	−1.631	11.324
8 / G2	poly_ridge10	0.1	−2.847	9.415

The G1 average is CA\$4.22 million, with an eight-refit t interval of CA\$0.67 million–CA\$7.77 million. G2 averages CA\$2.79 million, with interval CA\$−0.76 million–CA\$6.35 million. Each wins seven of eight trials. The intervals describe these repeated samples from the declared simulator; they are not prediction intervals for a new real programme or simultaneous guarantees across all research decisions.

D Complete frozen final-challenge ledger

The final composition uses the predesignated first G2 cohort. Each row is one alternative 24-project programme, not an additional realized revenue stream. Alpha is FORGE minus the stronger of its selected Beta and conventional reference. Regret is the perfect-information value minus FORGE with the same policy fee. Both are in millions of CAD.

Table 12. All 64 final programmes; 44 have positive competitive Alpha.

ID	Alpha	Regret	ID	Alpha	Regret
00	11.303	0.000	32	15.710	6.983
01	35.134	1.762	33	15.717	0.000
02	6.025	0.531	34	-2.000	29.911
03	19.302	0.094	35	13.653	4.094
04	-0.807	10.997	36	0.333	0.161
05	15.428	0.000	37	4.623	0.000
06	-2.000	0.000	38	5.240	2.818
07	-7.610	6.507	39	6.007	12.642
08	15.234	6.331	40	-10.023	8.131
09	1.861	0.101	41	-3.864	2.506
10	-2.000	0.879	42	6.190	0.000
11	6.796	9.619	43	0.368	0.000
12	0.111	24.266	44	4.454	0.000
13	16.396	0.064	45	27.715	0.000
14	-0.620	3.251	46	1.837	0.168
15	1.620	16.359	47	8.970	0.009
16	-0.037	0.000	48	6.635	2.224
17	-0.879	0.891	49	15.181	5.499
18	-6.816	17.330	50	1.060	0.000
19	10.962	0.677	51	9.886	0.000
20	-0.487	3.575	52	10.468	5.163
21	16.985	0.130	53	-2.372	0.372
22	3.498	1.247	54	2.984	15.298
23	-2.094	10.131	55	-2.000	2.561
24	2.227	0.000	56	4.172	15.415
25	10.312	0.114	57	-2.843	40.074
26	12.366	0.390	58	-1.871	0.404
27	19.486	1.192	59	-1.020	9.602
28	-0.612	7.351	60	11.530	8.454
29	6.538	0.000	61	8.646	11.995
30	4.831	0.257	62	17.081	0.000
31	-6.318	11.305	63	7.176	3.971

Programme pairing preserves all within-programme outcome dependence during bootstrap resampling. The conditional interval holds the models, selection decisions, generator and cash assumptions fixed. It does not refit during resampling and does not transform author-controlled evidence into independent custody.

E The complete first programme witness

The first final programme is retained by protocol. Table 13 lists its FORGE choices and synthetic outcomes. Completion is $\tau + \max(P, C) + I$; column “Cost” is base capital plus delivery fee plus actual rework, excluding the shared factory cost and policy fee. All dates are months, all money millions of CAD.

Table 13. First programme: 24 retained project choices. Modes follow Table 2.

Site	Beta: m / t	FORGE: m / t	Finish	Cost	PV
1	2 / 12	0 / 6	59.46	406.45	509.04
2	0 / 6	0 / 6	59.38	391.60	523.51
3	0 / 6	3 / 24	70.94	429.17	428.90
4	0 / 12	0 / 12	63.23	371.30	410.33
5	0 / 0	0 / 0	33.03	375.98	605.33
6	0 / 12	0 / 18	64.62	373.75	391.62
7	0 / 0	0 / 0	48.44	398.69	598.22
8	3 / 18	3 / 18	39.01	377.99	571.88
9	2 / 12	2 / 12	43.50	383.34	577.46
10	1 / 18	0 / 12	50.95	381.94	440.81
11	0 / 24	0 / 24	90.18	397.05	321.73
12	0 / 6	0 / 6	63.89	407.77	514.51
13	3 / 24	3 / 24	44.44	377.01	465.22
14	2 / 12	2 / 12	39.01	382.65	623.69
15	0 / 0	0 / 0	42.00	355.16	602.57
16	3 / 18	3 / 18	35.36	403.16	629.09
17	2 / 18	2 / 12	48.35	404.68	508.96
18	3 / 24	3 / 24	56.39	413.68	454.42
19	0 / 6	0 / 6	49.83	360.95	531.96
20	3 / 24	3 / 18	42.57	380.79	496.84
21	3 / 24	3 / 24	45.46	401.94	464.03
22	2 / 12	2 / 12	56.78	392.90	519.58
23	0 / 0	0 / 0	33.45	380.00	621.33
24	3 / 18	3 / 18	51.98	394.50	494.74

The programme purchases one factory cell. Its construction envelope reserves base capital, mode charges, the common 60-million rework reserve per site and the 105-million cell; the 10-million programme policy fee lies outside that particular construction constraint. Releasing an unused reserve is not income. The independently recomputed ledger separates investment from the reserve and from discounted operating cash. [F05, F10]

F Fixed-plan repricing and decision regret

This publication adds a secondary repricing grid, not a new model competition. The selected final plans are frozen. The discount rate is changed to $r \in \{0, .03, .05, .08, .12\}$ and annual net operating cash multiplied by $q \in \{.8, 1, 1.2\}$. The zero-rate case uses the limit $PV = A(20 - d/12)$. Construction costs, mode choices, factory counts and policy fees remain unchanged.

Table 14. Secondary fixed-plan sensitivity. Mean programme NPV and Alpha are millions of CAD.

Rate	Cash multiplier	Mean Alpha	FORGE NPV	Wins
0%	0.8	5.754	7,612.54	44/64
0%	1.0	4.539	11,881.49	41/64
0%	1.2	3.323	16,150.43	40/64
3%	0.8	6.350	2,576.50	45/64
3%	1.0	5.283	5,586.43	40/64
3%	1.2	4.216	8,596.36	38/64
5%	0.8	6.696	222.73	46/64
5%	1.0	5.715	2,644.22	44/64
5%	1.2	4.735	5,065.71	39/64
8%	0.8	7.151	-2,322.95	47/64
8%	1.0	6.284	-537.89	46/64
8%	1.2	5.417	1,247.18	44/64
12%	0.8	7.657	-4,533.21	45/64
12%	1.0	6.917	-3,300.71	44/64
12%	1.2	6.177	-2,068.21	43/64

At 8% and $q = 1$, FORGE's mean NPV is approximately CA\$-537.89 million, while its relative advantage over Beta remains approximately CA\$6.28 million. Better than another delivery policy does not mean that a committed investment should have been approved. The model cannot cancel projects; a separate build-or-decline decision would be required.

The regret calculation in Section 7 is also retrospective. It evaluates both selected final policies on all 64 programmes, giving 128 policy-programme comparisons. Every observed equal-fee regret satisfies the derived bound, but the average bound is approximately CA\$1001.72 million; it is deliberately conservative and far larger than the typical observed regret. This is an explanatory envelope, not a tight risk certificate or a prospective confidence bound. No new labels, fitting, selection or independent evidence were introduced.

G Reproduction and publication acceptance

G.1 Preserved source and tested environment

The unchanged original simulation is embedded in the complete research package. Its numerical environment is Linux x64, Python 3.13.5, NumPy 2.3.5, SciPy 1.17.0 and scikit-learn 1.8.0; native replay uses Node.js 22.16.0. The forecaster has JSON and Node inference; the integer planner requires the numerical Python dependencies. Dependency installation can require network access. The local operating command itself uses no model API, wallet, GPU or external action connector. From a freshly extracted FORGE_OMEGA root:

```
python 05_REPRODUCE/verify_bundle.py
python -m venv ../forge-env
# Activate the environment using your operating system's command.
python -m pip install -r 05_REPRODUCE/requirements.txt
python 05_REPRODUCE/operate.py \
  --model 02_MISSIONS/FORGE_MODEL.json \
  --input 02_MISSIONS/EXAMPLE_INPUTS.json \
  --out ../forge-proposal
```

Choose a new output directory outside the delivered capsule. The full experimental runner is `05_REPRODUCE/run_study.py`; it includes development selection and challenges and may take materially longer than operating a retained model.

G.2 What was newly executed for this paper

A fresh refit from the retained admitted historical cohorts reproduced all 32 selected model exports exactly. A separate final re-optimization reproduced 320 plans and all 320 full outcome records exactly, with zero NPV difference. These runs hold the original development-selected identities fixed; they do not rerun the complete development tournament or provide independent replication.

The publication's separately written reconciliation recomputes constraints and cash equations for all 896 retained challenge plans. It reconstructs the final aggregate values and paired interval, both across-refit intervals, the 128 decision-regret envelopes and the 15-case repricing grid. It checks 2,096 explicit assertions. Stored branch-and-bound values are inspected for consistency; they are not independently reconstructed solver proof certificates. Source and result identities are retained in `04_DATA/paper_analysis.json` and the publication assurance folder.

The original capsule reports 36 mission falsification checks, 324 numerical checks, 18 native mission checks and 33 product self-tests. Those counts are preserved as original evidence and are not relabeled as fresh publication tests. Repeated solves, stress runs and post hoc capacity options are excluded from the original 1,328-solve count. Publication checks are not additional economic observations.

G.3 Rebuilding the manuscript

The source edition contains all tables, vector figures, bibliography and the bilingual manuscript. No fonts are distributed; the TeX installation supplies them.

```
cd 02_LATEX
python build.py
```

The build uses pdfLaTeX and Biber and produces complete English and French A4 and US Letter editions. The reading editions are complementary HTML/MathML documents; no PDF/UA or assistive-technology certification is claimed. The package acceptance record lists actual compilation, reference, layout and archive checks; a successful build is not scientific peer review.

H Claim-to-evidence index and exact identity

The short locators below keep full technical paths out of the narrative. Unless marked “Publication,” paths are relative to the original extracted simulation. Recorded hashes identify specific files; no hash is a trusted timestamp, legal-title attestation or truth certificate.

ID	Evidence and scope
F01	Primary protocol, retained chronology and configuration: 03_DATA/STUDY/PROTOCOL.json
F02	Development pilots and design changes: 04_EVIDENCE/DEVELOPMENT_DISCLOSURE.json
F03	Historical, development and primary challenge cohorts: 03_DATA/STUDY/T00_G1 through 03_DATA/STUDY/T07_G2; each cohort's frozen selection and model files.
F04	Supplementary fixed-composition protocol and result: 03_DATA/STUDY/FINAL/PROTOCOL.json 03_DATA/STUDY/FINAL/SUMMARY.json
F05	Exact generator, forecasts, planning, verification and settlement: 05_REPRODUCE/lab.py; 05_REPRODUCE/run_study.py
F06	Portable specialist, generic comparator and local proposal: 02_MISSIONS/FORGE_MODEL.json; 02_MISSIONS/BETA_MODEL.json 05_REPRODUCE/operate.py
F07	Native lineage and separately retained ancestor: 02_MISSIONS/G1/mission.successor.json 02_MISSIONS/G2/mission.successor.json 09_PRIOR/HELIOS_G2.successor.json
F08	Bounded research decision and original conformance records: 02_MISSIONS/LOCAL_DECISION.json 04_EVIDENCE/VALIDATION.json; 04_EVIDENCE/NATIVE_ACCEPTANCE.json
F09	Original post hoc priced capacity options: 07_ECONOMICS/CAPACITY_FRONTIER.json
F10	Publication: cash/constraint reconciliation and secondary analysis: 04_DATA/paper_analysis.json; tools/analyze.py
F11	Publication: fresh selected refits and final re-optimization: 05_ASSURANCE/SELECTED_REFIT.json 05_ASSURANCE/FINAL_REPLAY.json
F12	Publication: compiled-edition and distribution acceptance: 05_ASSURANCE/PUBLICATION_ACCEPTANCE.json

The frozen specialist JSON has SHA-256

```
668cb4f299bb7f2d197b7c905847d6ba4f1f98154684cf9a0a7414e1a4493c5c
```

and the unchanged commercial customer archive is 38,176,107 bytes, SHA-256

```
8d88dfe8b28ead562c56afc478e4c6e90476667a40899bc28d0809b6bac6888b
```

The native ancestor fields reference canonical envelope digests, not necessarily the SHA-256 of their pretty-printed JSON files. These two identities must not be substituted for one another. The original byte identities and publication inventories are retained separately.

I Provenance, authorship and distribution

Vincent Boucher is the author of this monograph, in his capacity as President, QUEBEC.AI & MONTREAL.AI. The manuscript and its computational record were developed with AI assistance for drafting, code execution, numerical reconciliation and publication production. The research remains associated with the product's organization and is not vendor-independent evaluation. Authorship does not imply that any external institution replicated, reviewed or certified these results. No invented coauthor, customer testimonial, external affiliation, DOI or peer-review acceptance is assigned.

FORGE-TR-04 is an internal report identifier. The experiment is vendor-associated and author-controlled. Asterion is fictional; there is no operational customer evidence. A0 forbids external construction or financial effects in the evaluated route. Useful trained specialists, a local fixed-composition pass and a negative general-G2 qualification result coexist. Independently qualified Specialist ASI is not established.

The original simulation ZIP and its commercial customer software remain unchanged. The platform licence remains in force; inclusion in a research package grants neither platform ownership nor unrestricted software redistribution. The publication-only distribution excludes that commercial capsule. No new Creative Commons or open-source licence is imposed on pre-existing material. No font files are bundled.

I.1 Interpretive refinements and new analyses

This paper makes several distinctions more precise than a short demonstration can. The 60-million rework reserve is not an expense duplicated in NPV; policy fees are not included in the specific construction-cash constraint; all sites are mandatory; forecasts change objective values rather than the feasible set; the fitting objective is not a censored likelihood; and the source field called `dual_bound` becomes an upper bound after the sign reversal. One witness site label is normalized to one-based numbering without changing its recorded decision.

The retained regret argument, its 128 retrospective checks and the 15-case fixed-plan repricing are publication-only secondary analyses. They preserve every original fit, selected model, plan and primary result. They are not retroactive preregistration, new confirmatory trials, independent custody or realized Alpha. The scientific scope remains the executed synthetic experiment and the explicitly stated analytical consequences of its assumptions.

J Edition 2 capacity-menu protocol and complete record

This secondary experiment reads the retained FINAL/P00.npz through FINAL/P63.npz, the unchanged exported Beta and FORGE models, and the original lab.py. Its protocol records these exact hashes before the additional solves. Because the final cohort was already analyzed in edition 1, this local sequencing is not described as fresh preregistration.

Menu: (4, 0), (5, 90) and (6, 180), each pair denoting half-year mobilization slots and one-off million-CAD price. The additional price reduces the cash ceiling before optimization, then reduces programme value exactly once after settlement. Policy costs remain 8 and 10 million CAD. Model fitting, oracle equations, reserve requirements and factory kit capacity are unchanged. Both forecasters receive the same options.

The 384 plans include a fresh four-slot re-solve for each model and programme. All 128 four-slot values match the retained baseline within 10^{-7} million CAD. A separately written checker reconstructs choice uniqueness, release, factory readiness, mobilization, kit use, budget, actual construction expenditure and operating PV. Forecast objectives are checked against reported solver bounds, without claiming to reconstruct an independently certified branch-and-bound proof. There are 1,026 explicit assertions. The capacity source records the interrupted preliminary run separately from the complete passing execution; partial outputs are not used.

For each programme and policy, the menu selection maximizes forecast NPV after all fees. The corresponding retained potential outcomes are then used for settlement. A 4,000-draw paired bootstrap resamples 64 whole programmes with seed 260905. It conditions on the fixed policies, menu, cost assumptions and authored cohort; no training or procurement uncertainty is included. The original primary interval remains associated with its original seed and protocol.

To execute into a new directory outside the simulation:

```
python tools/capacity_study.py /path/to/FORGE_OMEGA ../new-capacity-run
```

The complete secondary selection table below reports the two forecasts' chosen slots, their additional NPV over their own original plans, and their direct comparative Alpha. All amounts are millions CAD, not annual income. The machine-readable records contain all unrounded values and all 384 option plans.

Table 16. Complete secondary menu ledger. B/F are chosen Beta/FORGE slots; G_B and G_F are gains over each policy's own original plan. All monetary values are millions CAD.

ID	B/F	G_B	G_F	$\alpha\mathcal{U}$	ID	B/F	G_B	G_F	$\alpha\mathcal{U}$
00	6/6	192.76	183.76	2.31	32	6/6	189.93	172.47	-1.75
01	6/6	171.42	134.28	-2.00	33	6/6	114.44	103.74	5.01
02	5/5	47.06	58.60	17.56	34	6/6	119.68	101.87	-19.80
03	6/6	177.72	174.74	16.32	35	6/6	169.92	163.29	7.02
04	6/6	131.68	125.84	-6.66	36	6/6	130.55	132.29	2.07
05	6/6	154.75	157.59	18.28	37	6/6	157.46	156.36	3.53
06	6/6	120.90	135.08	12.18	38	6/6	162.60	155.36	-2.00
07	6/6	130.71	139.70	1.39	39	6/6	135.71	132.00	2.29
08	6/6	211.99	214.34	17.58	40	6/6	142.54	156.82	4.25
09	6/6	189.83	186.75	-1.22	41	6/6	182.79	175.95	-10.71
10	6/6	160.91	166.67	3.76	42	6/6	130.43	150.90	26.66
11	6/6	165.42	148.43	-10.20	43	6/6	140.35	139.62	-0.36
12	6/6	106.54	96.91	-9.52	44	6/6	218.67	211.47	-2.74
13	6/6	190.49	172.09	-2.00	45	6/6	236.11	219.32	10.92
14	6/6	104.37	114.53	9.54	46	6/6	131.87	134.40	4.37
15	6/6	156.97	144.43	-10.92	47	6/6	121.68	111.08	-1.63
16	6/6	128.10	141.51	13.37	48	6/6	82.41	83.89	8.11
17	6/6	196.90	195.78	-2.00	49	6/6	166.39	150.83	-0.37
18	6/6	150.33	165.25	8.10	50	6/6	165.02	163.28	-0.68
19	6/6	181.48	178.15	7.62	51	6/6	121.33	109.44	-2.00
20	6/6	170.33	184.02	13.20	52	6/6	140.95	133.06	2.58
21	6/6	139.84	131.17	8.31	53	6/6	160.27	163.98	1.34
22	6/6	115.89	110.71	-1.68	54	6/6	179.52	175.06	-1.47
23	6/6	114.02	128.77	12.66	55	6/6	149.06	146.79	-4.28
24	6/6	92.49	94.08	3.82	56	6/6	191.69	187.14	-0.38
25	6/6	94.65	84.13	-0.20	57	6/6	152.39	151.73	-3.50
26	6/6	127.55	115.26	0.08	58	6/6	145.39	157.20	9.94
27	6/6	216.69	215.87	18.67	59	6/6	108.55	96.90	-12.67
28	6/6	150.51	158.51	7.38	60	6/6	158.06	146.26	-0.27
29	6/6	173.62	178.50	11.42	61	6/6	180.52	174.61	2.74
30	6/6	131.88	120.68	-6.37	62	6/6	114.88	103.67	5.87
31	6/6	143.40	168.06	18.34	63	6/6	134.82	125.64	-2.00

K Source additions and physical resource account

New edition files use publication-relative paths and do not overwrite the original simulation:

ID	Locator and interpretation
F13	07_EDITION_2 / CAPACITY_MENU / PROTOCOL.json; SUMMARY.json, SELECTIONS.json, CHECKS.json and plans/ within that folder. Post hoc analysis, not new qualification.
F14	tools/capacity_study.py; executed option-selection and independent-equation checks.
F15	07_EDITION_2/PHYSICAL_LEDGER.json; ideal area and source-power identities, not a physical design.
F16	05_ASSURANCE/SECONDARY_REPLAY.json; same-host repeat of the menu study, at the result layer indicated there.
F17	08_ARTWORK/ARTWORK_PROVENANCE_EN_FR.md; conceptual image origin and its exclusion from scientific evidence.

The physical ledger uses nominal reference irradiance and luminosity from IAU Resolution B3, approximate Stefan–Boltzmann constant from NIST, and explicitly assumed conversion efficiency, emissivity and temperatures [17, 18]. The mathematical expression for σ is exact under the SI constants; the printed decimal is rounded. The ledger’s exact input decimal is recorded for reproducibility. Nominal solar references are conventions, not a current measured source inventory.

Collector area is normal projected area at the reference irradiance. Radiator area is total effective emitting area for a cold-background assumption with no incident heating or obstructed view. No claim is made that the same equipment can provide both surfaces, that such geometry is stable, or that material and launch requirements are met. No financial return is computed from these power levels. The stellar-power inequality limits the intercepted supply even before fabrication and thermal losses.

K.1 What changed, and what did not

Edition 2 preserves the original datasets, selected models, case results, product archive and adverse conclusions. It adds a shared priced-capacity menu on existing programmes, an explicit acquisition-and-capital protocol, a prospective cash/resource state model, a conditional physical account, a generated conceptual illustration and redesigned bilingual reading editions. The original 31,360 project instances are not increased by repeating plans or adding options. The 384 secondary solves are never added to the original 1,328 development/challenge count as if they were new primary evidence.

L Edition 3: underwriting, interface and publication acceptance

Exactly what changed. The manuscript and visual identity are rebuilt from LaTeX source. A new institutional thesis, advantage-retention frontier, capacity-delivery case and decision-certificate design supplement the complete prior methods. The underlying FORGE-LAB 1.0.0 simulation, selected models, project contracts and licensed SUCCESSOR Ω product are unchanged. The edition-2 capacity-menu study remains a separately identified secondary experiment, not a revised primary claim.

The new analysis in tools/underwriting.py reads the retained full-precision programme values and selected menu plans. Its 8,262 grid cells span two regimes, 51 retention factors and 81 total

incremental-cost values. Twenty comparison scenarios additionally verify the affine bootstrap calculation directly. Twenty two-state delivery scenarios illustrate a prospective capital-loss assumption. The script performs 160 assertions. These are numerical accounting checks, not 160 independent performance observations.

The offline decision laboratory. 10_DECISION_LAB/INDEX.html is a self-contained bilingual research interface. No external library, network request or model API is required. It exposes the formulas in Sections 17–18, shows negative cases, and exports a JSON assumption record. Its inputs do not alter the simulation, re-fit a model, change an optimized plan, or authorize a capital purchase. The numerical engine has dedicated tests; interface execution and browser testing are reported in the current acceptance record, without relabeling an unexecuted host test.

Current versus retained verification. The current author edition reruns the separate 896-plan equation reconciliation and the 32 selected-model refits, followed by re-optimization of the 320 final plans. It does not repeat development-based candidate selection. Current logs are in 05_ASSURANCE; older execution records are preserved separately in 90_PRIOR_ASSURANCE. New numerical results and figures derive from 11_UNDERWRITING/RESULT.json. Original-stage and secondary-stage claims retain their respective source identities.

Artwork and authorship. The final author edition uses new AI-generated conceptual artwork, cropped to retain only pictorial content. Generated names, claims, numerical charts and signatures are excluded. All current titles, author lines, captions, equations and empirical figures are separately typeset or computed. The delivered crop coordinates and source hashes are recorded in 08_ARTWORK/PROVENANCE_FINAL.json. The artwork is an imagined research horizon, not an engineered design or an empirical result.

Table 18. Edition-3 claim-to-evidence additions. Paths are relative to the publication root.

ID	Exact evidence and scope
F14	11_UNDERWRITING/RESULT.json; post hoc retained-value transformations and accounting assertions.
F15	11_UNDERWRITING/FRONTIER.csv; all 8,262 grid points, no new model outcomes.
F16	11_UNDERWRITING/DELIVERY.csv; prospective assumed delivery states, not supplier measurements.
F17	05_ASSURANCE/SELECTED_REFIT_CURRENT.json; current selected-model fitting, fixed selections.
F18	05_ASSURANCE/FINAL_REPLAY_CURRENT.json; current final-plan re-optimization.
F19	08_ARTWORK/PROVENANCE_FINAL.json; current conceptual asset origins and crops.

M Final author edition: scope, corrections and verification

M.1 A complete authored publication

This edition is by **Vincent Boucher, President, QUEBEC.AI & MONTREAL.AI**. The cover, document metadata, reading editions and source carry that authorship. It supersedes earlier commissioned-report wording in the current publication. Historical simulation bytes remain preserved exactly; that preservation does not turn earlier cover text into the current byline.

The final source retains every substantive section, result table, equation, evidence locator and qualification boundary of edition 3. It adds Section 21, corrects publication identity, replaces the conceptual art with clean pictorial crops, and consolidates the English and French distribution. The

new recurrence and its physical bound are explicitly conditional mathematical statements. They do not alter model training, simulation outcomes, capital-menu selection, economic assumptions or the original local decision.

M.2 Three verification layers

Retained empirical computations. The current execution rechecks all 896 retained challenge plans with separately written assignment, resource and cash equations, repeats fitting of all 32 selected model exports with their original selections held fixed, and re-solves all 320 final plans. These are same-host reproduction checks. Repetition neither supplies new industrial observations nor establishes independent evidence custody. The complete original development-selection runner remains in the unchanged simulation capsule.

Secondary arithmetic and formal identities. The advantage-retention and delivery-risk analysis is rerun from full-precision retained records. A separate test script compares the productive-recurrence root with companion-matrix eigenvalues, checks the growth threshold and lead-time ordering, and verifies the resource-cap envelope on explicit trajectories. These are tests of numerical implementations of the stated algebra, not evidence that the example parameters describe an industrial economy. The mathematical proofs, not the finite test grid, establish the conditional propositions.

Publication engineering. Both complete language manuscripts are compiled in A4 and US Letter from the delivered source. The release record checks author identity, resolved citations and internal destinations, text within page boundaries, page rendering, source-package rebuilding, file inventories and archive integrity. The HTML/MathML readers provide an alternative semantic reading path. The optional decision laboratory retains its declared browser-test limitations; publication rebuilding does not recertify browser navigation, live deployment or the commercial product.

Table 19. Final-author-edition evidence additions. Complete logs distinguish freshly run checks from retained historical records.

ID	Current publication locator and scope
F20	05_ASSURANCE/FINAL_ACCEPTANCE.json: delivered-edition test scope and release identities.
F21	12_FORMAL/RESULT.json: recurrence/eigenvalue checks and bounded-capacity trajectories.
F22	05_ASSURANCE/AUTHORSHIP_AUDIT.json: current source, PDF metadata and extracted-text byline checks.
F23	05_ASSURANCE/SOURCE_REBUILD.json: independent clean-folder rebuild of the delivered LaTeX source.
F24	05_ASSURANCE/SOURCE_VERIFICATION.json: primary reference checks; no external endorsement.

M.3 Practical use and distribution

Start with the decision brief for the investment distinction, the complete programme witness for the actual proposal, the methods for reproduction, and the physical ledger for the long-horizon research obligations. Use the local laboratory only for fixed-record assumption sensitivity. It is not an investment approval form.

References

- [1] MONTREAL.AI / QUEBEC.AI. *HELIOS Ω : Intelligence as Productive Capital*. Research monograph HELIOS-TR-02, edition 2.0. Predecessor mission; its operating cost is a fixed input to FORGE, not a second credited advantage. 2026.
- [2] MONTREAL.AI / QUEBEC.AI. *FORGE Ω : The Capital-to-Capacity Foundry, Simulation Capsule 1.0.0*. User-supplied executable artifact. Synthetic evidence; original archive preserved unchanged in the complete publication. Source identities in Appendix H. Sept. 2026.
- [3] A. N. Elmachtoub 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] D. Bertsimas and N. Kallus. “From Predictive to Prescriptive Analytics”. In: *Management Science* 66.3 (2020), pp. 1025–1044. doi: 10.1287/mnsc.2018.3253. arXiv: 1402.5481.
- [5] J. Mandi, J. Kotary, S. Berden, M. Mulamba, V. Bucarey, T. Guns, and F. Fioretto. “Decision-Focused Learning: Foundations, State of the Art, Benchmark and Future Opportunities”. In: *Journal of Artificial Intelligence Research* 81 (2024). FORGE does not implement end-to-end decision-focused training., pp. 1623–1701. doi: 10.1613/jair.1.15320. arXiv: 2307.13565.
- [6] R. Kolisch and A. Sprecher. “PSPLIB—A Project Scheduling Problem Library”. In: *European Journal of Operational Research* 96.1 (1997), pp. 205–216. doi: 10.1016/S0377-2217(96)00170-1.
- [7] T. Gebru, J. Morgenstern, B. Vecchione, J. W. Vaughan, H. Wallach, H. Daumé III, and K. Crawford. *Datasheets for Datasets*. Revised manuscript; original preprint 2018. 2021. arXiv: 1803.09010.
- [8] scikit-learn developers. *ExtraTreesRegressor: scikit-learn 1.8.0 Documentation*. 2026. URL: <https://scikit-learn.org/1.8/modules/generated/sklearn.ensemble.ExtraTreesRegressor.html> (visited on 09/05/2026).
- [9] 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 (2010), pp. 2079–2107. URL: <https://jmlr.org/papers/v11/cawley10a.html>.
- [10] SciPy developers. *mi lp: Mixed-Integer Linear Programming*. Version 1.17.0 documentation; wrapper of HiGHS. 2026. URL: <https://docs.scipy.org/doc/scipy-1.17.0/reference/generated/scipy.optimize.milp.html> (visited on 09/05/2026).
- [11] C. A. Field and A. H. Welsh. “Bootstrapping Clustered Data”. In: *Journal of the Royal Statistical Society, Series B* 69.3 (2007), pp. 369–390. doi: 10.1111/j.1467-9868.2007.00593.x.
- [12] U.S. Department of Energy. *R&D Efforts to Address Transformer Supply*. Industrial background only; does not calibrate FORGE costs, durations or treatment effects. URL: <https://www.energy.gov/oe/rd-efforts-address-transformer-supply> (visited on 09/05/2026).
- [13] National Institute of Standards and Technology. *Digital Signature Standard (DSS)*. Tech. rep. FIPS 186-5. NIST, 2023. doi: 10.6028/NIST.FIPS.186-5. URL: <https://csrc.nist.gov/pubs/fips/186-5/final>.
- [14] 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.
- [15] National Institute of Standards and Technology. *Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0)*. Tech. rep. AI 100-1. NIST, 2023. doi: 10.6028/NIST.AI.100-1.
- [16] National Aeronautics and Space Administration. *In-Space Servicing, Assembly, and Manufacturing*. Background on future capability classes only; does not validate FORGE. URL: <https://www.nasa.gov/isam/> (visited on 09/05/2026).
- [17] International Astronomical Union. *Resolution B3: Recommended Nominal Conversion Constants for Selected Solar and Planetary Properties*. Nominal irradiance and luminosity are conversion conventions, not deployment evidence. 2015. URL: <https://www.iau.org/common/Uploaded%20files/IAUGA2015-Resolution-B3-recommended-nominal-conversion.pdf> (visited on 09/05/2026).
- [18] National Institute of Standards and Technology. *CODATA Value: Stefan–Boltzmann Constant*. Exact constant under the SI definition; the printed decimal is approximate. URL: <https://physics.nist.gov/cuu/Constants/Table/ascii.txt> (visited on 09/05/2026).

MONOGRAPHIE / ÉDITION FINALE D'AUTEUR 4.0

FORGE Ω

L'institution d'intelligence productive

De l'avantage qualifié
à la capacité productive durable



HORIZON CONCEPTUEL / IMAGE GÉNÉRÉE PAR IA. AUCUNE CONCEPTION D'INGÉNIERIE.

Vincent Boucher

Président, QUEBEC.AI & MONTREAL.AI

Calcul exécuté. Preuves industrielles et financières synthétiques.
Aucun chantier, Alpha réalisé ou qualification indépendante de superintelligence.

L'institution est l'actif cumulatif

DE LA DÉCISION LOCALE À UNE FRONTIÈRE PRODUCTIVE ÉLARGIE

Une réponse devient caduque.
Une méthode qualifiée peut durer.

L'actif ambitieux n'est pas un modèle supposé supérieur pour toujours. C'est une institution sous contrôle client qui transforme une mission en décisions éprouvées, consigne ses échecs, paie la capacité utile et conserve les preuves nécessaires pour qualifier son successeur. Chaque progrès productif peut élargir la prochaine question que le propriétaire est en mesure d'étudier.

La proposition de recherche

De meilleures décisions peuvent améliorer les actifs productifs. Un surplus réalisé peut financer de meilleures preuves et de nouvelles recherches. Une capacité industrielle vérifiée peut élargir l'ensemble réalisable. La continuité institutionnelle peut préserver la méthode tout en remplaçant le modèle.

Cette séquence est une architecture de recherche industrielle proposée. FORGE en exécute une partie circonscrite ; il ne prétend pas avoir accompli toute la trajectoire.

Trois horizons	La contribution et la limite de ses preuves
Exploitation	HELIOS fournit un coût énergétique fixe. Son avantage antérieur n'est pas recompté.
Production	FORGE entraîne un prévisionniste d'étapes et chiffre un programme de 24 campus. C'est le cas synthétique exécuté.
Expansion	Matériaux, fabrication, collecte d'énergie et assemblage distant sont des missions futures, chacune soumise à de nouvelles preuves physiques et économiques.

EXIGENCE DE LECTURE Calcul réel / valeur conditionnelle / échelle prospective.

Les trois sont reliés, jamais substitués les uns aux autres.

Résumé

Une intelligence productive doit faire davantage qu'améliorer les prévisions : elle doit choisir des interventions sous contraintes communes, en comptabiliser le coût et conserver les preuves permettant de les reconsidérer. FORGE Ω étudie cette proposition au moyen d'un programme de construction exécuté, entièrement synthétique. Un propriétaire fictif alloue une enveloppe de 12 000 000 000 \$ CA à 24 campus engagés. Un modèle construit par le client prévoit quatre résultats de réalisation selon quatre modes; un planificateur mixte à 673 variables entières choisit les démarrages, les modes et la capacité d'usine payante. Le produit SUCCESSOR Ω 16.1.0 inchangé conserve séparément deux générations de missions signées, reliées à HELIOS. Les effets proposés restent A0.

Huit essais appariés par génération ajustent neuf candidats sur 1 600 projets historiques, chacun n'exposant qu'un mode assigné aléatoirement. La sélection de développement utilise la valeur actualisée nette (VAN) du programme. Une composition G2 gelée et prédésignée affronte 64 nouveaux programmes. Elle améliore la VAN moyenne modélisée de 5 715 320 \$ CA par rapport au Bêta sélectionné en développement, avec un intervalle conditionnel apparié à 95% de [3 665 779 \$ CA, 7 902 328 \$ CA], et gagne sur 44 programmes. Son gain de 522 867 202 \$ CA face au mode classique est un contraste stratégique plus large, non un Alpha additionnel. La réduction des dépenses en capital compense une valeur actualisée des flux d'exploitation légèrement moindre et un surcoût de politique de 2 000 000 \$ CA. FORGE est en moyenne plus lent que Bêta, mais améliore le résultat économique modélisé.

L'intervalle général G2 entre réajustements recoupe zéro. L'analyse conservée de l'édition 2 ajoute un menu payant partagé sur la cohorte finale existante : 384 plans secondaires. FORGE gagne 147,040 M\$ CA sur ses propres décisions initiales, mais Bêta gagne davantage; l'Alpha avec menu se réduit à 3,112 M\$ CA. Ce résultat ne change pas la qualification principale. La frontière conservée sur résultats fixes montre ceci : à coût initial, une borne inférieure conditionnelle positive exige de conserver plus de 35,30% de l'écart initial avant frais, ou 66,09% avec menu élargi. Ce sont des seuils d'hypothèses, non une persistance estimée. L'édition finale d'auteur ajoute un critère conditionnel de reproduction productive intégrant délais de livraison et plafonds de ressources. L'article relie décisions apprises, capacité rare, discipline de trésorerie et preuves conservées, puis formalise un programme prospectif de missions productives successives. Les effets synthétiques, le simulateur connu et le contrôle local excluent toute prétention de gains industriels réels, d'ASI qualifiée indépendamment ou d'admission opérationnelle.

Mots-clés : prédire puis optimiser; capacité industrielle; allocation du capital; programmation mixte; Alpha concurrentiel; intelligence de mission; succession signée; évaluation synthétique.

Contrat de lecture

Exécuté signifie un calcul réellement réalisé. **Modélisé** signifie une conséquence d'hypothèses synthétiques déclarées. **Proposé** désigne une exigence future. Sauf indication contraire, les résultats sont des VAN de programme sur vingt ans, en dollars canadiens, à un taux de 5%. Ce ne sont ni des bénéfices annuels, ni des encaissements, ni des valeurs d'entreprise.

FORGE-TR-04, édition d'auteur 4.0. Rapport préparé avec assistance de l'IA à partir de FORGE-LAB 1.0.0. Aucun examen indépendant ni certificat tiers. Simulation et produit commercial inchangés.

Note décisionnelle

PROPRIÉTAIRES, DIRECTIONS TECHNIQUES ET COMITÉS D'ASSURANCE

La décision n'est pas simplement de construire plus vite, mais de déterminer quelle accélération mérite d'être achetée. FORGE produit une proposition locale de modes, de créneaux rares et de cellules d'usine payantes. Les contrats et le coût énergétique hérité de HELIOS sont identiques pour chaque politique.

Résultat décisionnel	Valeur
Alpha moyen face au Bêta sélectionné	5 715 320 \$ CA
Intervalle conditionnel final à 95%	3,666–7,902 millions CA
Programmes finaux positifs	44 / 64
Moyenne G2 sur huit réajustements	2 794 550 \$ CA
Intervalle entre réajustements G2	–0,762–6,351 millions CA
Capital économisé face à Bêta	12 618 191 \$ CA
Variation de la VA des flux d'exploitation	–4 902 871 \$ CA
Surcoût de politique par programme	2 000 000 \$ CA
Achèvement moyen face à Bêta	0,071 mois plus tard

Le contraste large n'est pas la prétention étroite. FORGE améliore la VAN modélisée de 522 867 202 \$ CA face à la référence exclusivement classique et accélère la réalisation de 10,59 mois. Bêta dispose aussi des options d'usine et d'équipes. Sa comparaison isole un avantage supplémentaire bien plus modeste. Ces contrastes ne s'additionnent pas.

La capacité est mesurée, non inventée. Toutes les politiques livrent finalement les mêmes 24 campus. Au mois 48, FORGE en exploite en moyenne 9,25, contre 3,328 classiquement. Les quelque 296 MW disponibles plus tôt ne représentent ni une capacité finale supplémentaire, ni un calcul exécuté, ni un résultat de chantier observé.

Deux décisions distinctes

Conserver la composition G2 gelée pour une recherche A0 : son défi synthétique local réussit.
Refuser une supériorité générale du processus d'entraînement G2 : son intervalle entre réajustements inclut zéro. Aucune qualification indépendante d'ASI spécialisée ni autorité conséquente n'est accordée.

Prochain investissement. Valider indépendamment l'adaptateur des données, les effets des modes, l'acquisition possible de capacité et les contraintes complètes des chantiers. Une VAN favorable ne finance pas sa propre dépense avant encaissement. Chaque capacité payante exige sa mission de qualification.

Atlas des preuves

UNE COMPOSITION. DES OBLIGATIONS DE PREUVE DISTINCTES.

Couche	Établi localement	Limite préservée
Apprentissage	144 ajustements ; 32 exports sélectionnés ; prévision de quatre résultats	Base inspirée du simulateur ; modes synthétiques randomisés ; aucun effet causal réel appris
Planification	672 choix binaires bornés et un entier de capacité d'usine	Créneaux abstraits de mobilisation et de kits, non ingénierie de chantier complète
Comparaison	Huit réajustements appariés par régime et 64 programmes finaux gelés	Comparateurs finis ; modèle fixe et procédure d'entraînement restent distincts
Économie	Registres explicites du capital, des flux actualisés et des frais	Capital imputé immédiatement ; contrats construits ; aucun encaissement réel
Continuité	Génération natives signées 3 et 4 reliées à HELIOS G2	Nouvel ajustement, non héritage des poids, preuves ou permissions
Vérification	Reconstruction des choix et flux ; réajustements ; nouvelles résolutions	Même démarche et même hôte, sans garde indépendante des preuves
Autorité	Propositions A0 locales et refus explicites	Aucun connecteur de contrat, paiement, commande ou construction

Le modèle de stades et le planificateur entier sont des extensions du client. Les réseaux natifs de triage à six signaux sont réellement entraînés, mais ne reçoivent pas le gain monétaire du programme. La plateforme reste concédée sous licence ; conserver un fichier de mission ne prouve ni titre juridique ni propriété exclusive.

Apports de l'édition 3

Méthodes et résultats complets ; menu partagé de 384 plans ; frontière conservation/coût de 8 262 points ; risque de livraison chiffré ; certificat décisionnel proposé et laboratoire hors ligne. Les nouveaux calculs sont secondaires, sur résultats fixes, non des confirmations indépendantes. Les illustrations conceptuelles ne sont pas des résultats d'ingénierie.

Les résultats négatifs sont conservés : vingt programmes finaux ne gagnent pas, l'intervalle G2 recoupe zéro et la vitesse maximale n'optimise pas la VAN. Le registre complet permet d'inspecter ces distinctions, au lieu de les masquer par un unique statut de promotion.

Parcours de lecture

Décideurs : note décisionnelle ; sections 9, 11, 16 et 20.

Lecteurs techniques : sections 4–8 ; annexes A–E.

Responsables de l'assurance : atlas des preuves, sections 14–15 et annexes G–I.

Table des matières

La thèse institutionnelle	i
Résumé	ii
Note décisionnelle	iii
Atlas des preuves	iv
1 D'un avantage d'exploitation à la capacité productive	1
2 Une composition de mission aux obligations distinctes	1
3 Le programme engagé et son abstraction physique	2
4 Preuves synthétiques, assignation et chronologie	3
5 Un spécialiste de quatre stades et des alternatives sérieuses	4
6 Le programme entier de capital et de capacité	5
7 Ce que l'erreur de prévision peut changer	6
8 Alpha concurrentiel et deux incertitudes distinctes	7
9 Résultats : un spécialiste gelé utile, non une procédure universelle	8
10 Dans la première proposition conservée	10
11 Attribution du capital : valeur et vitesse divergent	11
12 Capacité avancée et prochain goulot chiffré	11
13 Revalorisation secondaire et regret décisionnel	12
14 Succession signée, garde des preuves et autorité	13
15 Travaux connexes et limites de qualification	14
16 Acheter un ensemble réalisable plus large	15
17 La frontière de l'avantage au capital	17
18 Une capacité achetable exige un dossier de livraison	19
19 Le certificat institutionnel d'investissement	20
20 L'institution productive capable de se renforcer	21
21 Quand l'avantage productif peut financer l'expansion	22
22 Un horizon ambitieux assorti d'un compte physique	24
23 Conclusion	25
A Générateur exact des réponses et des flux	26
B Représentation et spécification complète des ajustements	27
C Tous les résultats des cohortes appariées	28
D Registre complet du défi final gelé	28
E Témoin complet du premier programme	30
F Revalorisation à plans fixes et regret décisionnel	31
G Reproduction et acceptation de publication	31
H Index des preuves et identité exacte	33
I Provenance, auteur et distribution	34
J Protocole du menu de capacité et registre complet	35
K Ajouts sources et compte de ressources physiques	37
L Édition 3 : évaluation préalable, interface et acceptation	37
M Édition finale d'auteur : portée, corrections et vérification	39
Références	41

1 D'un avantage d'exploitation à la capacité productive

Une organisation riche en capital peut néanmoins manquer de capacité. Améliorer l'exploitation d'infrastructures existantes ne démontre pas à quelle vitesse la prochaine installation pourra être fabriquée, livrée ou mise en service. HELIOS étudiait un avantage de prévision-ordonnancement et un scénario où le débit de construction devenait contraignant [1]. FORGE change la question : quels modes de réalisation et quelles capacités payantes un propriétaire technique doit-il sélectionner pour une expansion engagée ?

Asterion Infrastructure Partners est fictif. Son actif supposé atteint 100 000 000 000 \$ CA. Il réserve 12 000 000 000 \$ CA à 24 campus. L'actif initial fournit le contexte narratif ; il ne multiplie aucun résultat. Chaque campus représente 50 MW de capacité finale de charge de calcul flexible. Toutes les politiques livrent finalement les mêmes 1,2 GW. La source primaire est la capsule de simulation FORGE fournie [2].

L'étude relie trois mécanismes. Un modèle appris associe conditions observables et mode proposé à des résultats d'approvisionnement, de travaux civils, d'intégration et de reprises. Un planificateur entier alloue modes, démarrages et cellules d'usine sous contraintes communes. Un registre de mission conserve preuves, alternatives, filiation et refus explicite d'une autorité non justifiée. Il s'agit d'un exemple de système exécuté, non d'un nouvel optimiseur général ou d'un modèle industriel universel.

1.1 Questions auxquelles l'expérience peut répondre

Le modèle structuré gelé induit-il de meilleures décisions de programme qu'un modèle générique sélectionné en développement ? Cet avantage résiste-t-il au renouvellement des cohortes d'entraînement ? Une meilleure VAN implique-t-elle une construction plus rapide ? Une filiation native peut-elle conserver la composition exacte sans lui attribuer de pouvoir opérationnel ? Le résultat du modèle final fixe est localement favorable ; celui de la procédure d'entraînement reste incertain ; vitesse et valeur divergent ; la filiation fonctionne dans un dispositif local de fichiers.

L'article distingue *prédire puis optimiser* de l'apprentissage décisionnel de bout en bout. Les prévisions s'ajustent aux résultats des stades, tandis que la sélection utilise la VAN en aval. L'optimisation n'est pas différenciée pendant l'ajustement. Les travaux antérieurs motivent l'évaluation de la décision plutôt que de la seule erreur prédictive [3, 4, 5] ; FORGE n'implémente ni SPO+ ni leurs garanties théoriques.

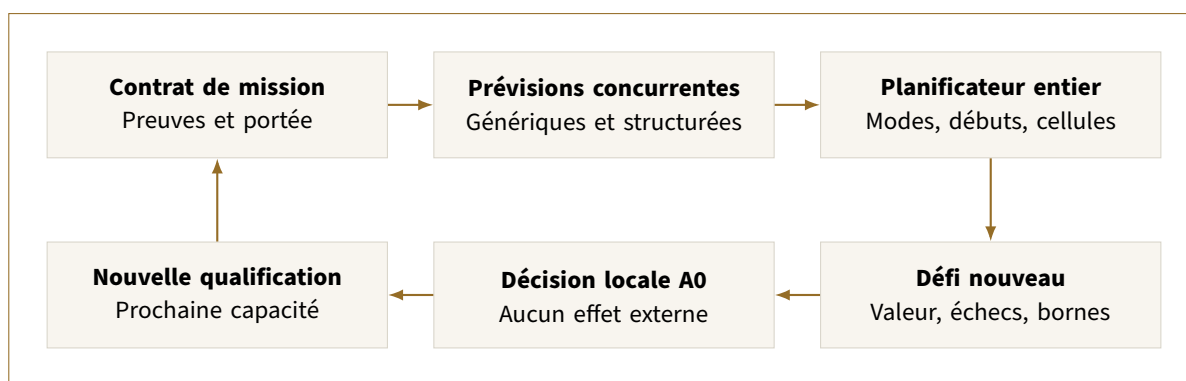
2 Une composition de mission aux obligations distinctes

On représente une composition de recherche par

$$C_g = (M_g, D_g, \phi_g, \theta_g, X_g, J_g, \mathcal{E}_g, \ell_g, a_g), \quad (1)$$

où M_g désigne la mission et le contrat d'entrée, D_g les données admises, ϕ_g la représentation, θ_g les paramètres ajustés, X_g les décisions réalisables, J_g l'objectif économique, $\mathcal{E}_g$ les preuves, ℓ_g la filiation et a_g l'autorité. Cette notation sépare des objets souvent masqués par le mot « agent ». Elle n'en garantit pas l'authentification indépendante.

Le produit commercial inchangé crée deux missions natives de triage à six signaux, chacune avec 400 lignes admises et 27 000 mises à jour répétées. Elles deviennent les générations natives 3 et 4, car la première référence HELIOS G2. Le prévisionniste de construction et le planificateur sont



Registre persistant : mission, données admises, alternatives, modèles exacts, décisions, échecs et filiation

FIGURE 1. Composition logique de la recherche exécutée. Registre natif et planificateur client restent distincts. Tous les rôles sont contrôlés par la même démarche ; les séparer graphiquement ne crée pas de garde indépendante.

des extensions distinctes du client. Le triage natif ne détermine pas les plans de construction et ne reçoit aucune attribution financière mesurée séparément. [F07]

A0 signifie inspecter, évaluer, conserver et proposer. La procédure locale valide le contrat d'entrée déclaré, prévoit les résultats, résout le problème fini, vérifie l'allocation et écrit un rapport. Elle ne possède aucun connecteur d'attribution de contrat, paiement, commande d'usine ou construction. Les indicateurs de qualification autodéclarés sont des contrôles d'admission, non des preuves de l'authenticité des données d'ingénierie.

Séquence opérationnelle

Admettre les observations → ajuster les alternatives → sélectionner sur les programmes de développement → geler modèles et code → générer des défis nouveaux → comparer les politiques complètes → conserver la décision locale. Chaque génération renouvelle l'obligation de preuve ; elle n'hérite pas d'une victoire.

3 Le programme engagé et son abstraction physique

Chaque programme comporte 24 projets. Le modèle doit choisir un des quatre modes et une des sept périodes de début pour chaque projet ; l'annulation n'est pas possible. Les démarrages sont $\mathcal{T} = \{0, 6, 12, 18, 24, 30, 36\}$ mois. Selon la préparation technique, un site devient disponible au mois 0 ou 6. Il s'agit d'allouer la réalisation de projets engagés, non de sélectionner des investissements en rejetant un campus non rentable.

TABLE 1. Contrat de programme déclaré. Montants en millions de dollars canadiens sauf indication contraire.

Enveloppe de trésorerie de construction	12 000
Coût d'une cellule / délai	105 / 12 mois
Nombre maximal de cellules	2
Kits qualifiés par cellule et semestre	4
Créneaux de mobilisation par semestre	4
Réserve de reprises par campus	60
Fin de l'évaluation / actualisation annuelle	240 mois / 5%
Frais : classique / Bêta / FORGE	2 / 8 / 10
Coût énergétique HELIOS	64 407,32 \$ CA par campus-jour

TABLE 2. Choix communs de réalisation. Un créneau représente la mobilisation, non l'occupation continue d'une équipe.

Mode	Traitement	Frais	Créneaux	Kit d'usine
0	Classique	0	1,00	Non
1	Équipes renforcées	12	1,25	Non
2	Modules qualifiés en usine	20	0,50	Oui
3	Usine et équipes intégrées	29	0,75	Oui

Chaque cellule est achetée une seule fois ; les kits sont comptés dans la période de démarrage des projets qui les utilisent. Les kits inutilisés ne sont pas reportés. Le modèle ne mobilise pas continuellement des ressources pendant la durée prédite des stades ; il contraint les débuts. Il n'existe ni précédenance entre projets, ni modèle de raccordement électrique, permis, pannes ou réseau logistique spatial. Ce cadre diffère sensiblement des problèmes complets d'ordonnancement sous contraintes de ressources [6].

La contribution contractuelle supposée est de 500 \$ CA à 600 \$ CA par MWh de travail terminé, appliquée à 600 MWh par jour. Ce n'est pas un prix de marché. Le coût énergétique HELIOS, les frais de personnel et les provisions de remplacement sont identiques pour toutes les politiques. L'avantage énergétique n'est pas compté une seconde fois. L'annexe A précise le capital de base et les flux annuels.

4 Preuves synthétiques, assignation et chronologie

Les dix entrées normalisées décrivent préparation technique, pression d'approvisionnement, compatibilité modulaire, complexité civile, expérience des équipes, maturité qualité, pression logistique, complexité des interfaces, solidité contractuelle et exposition météorologique. Ce sont des signaux construits, non des mesures empiriques calibrées.

Pour chacun des huit essais appariés et des deux régimes, 1 600 projets historiques reçoivent un mode uniforme aléatoire et quatre résultats observés. L'apprentissage ne voit pas tous les résultats potentiels de chaque projet. Des chocs communs relient des groupes de vingt projets historiques. En évaluation, chaque programme de 24 sites reçoit un choc commun à quatre composantes et des chocs de site partagés entre les quatre modes possibles. Cet appariement autorise une comparaison synthétique contrôlée ; il ne constitue pas un essai industriel randomisé réel.

TABLE 3. Allocation des données. Les répétitions et analyses de publication ne constituent pas de nouvelles preuves de projet.

Preuves	Projets	Rôle
Seize cohortes historiques	25 600	1 600 par ajustement
Programmes de développement	1 152	3 par ronde, 24 sites
Défis principaux	3 072	8 par ronde, 24 sites
Défi final gelé	1 536	64 programmes, 24 sites
Instances économiques	31 360	Hors gouvernance native
Lignes natives séparées	800	400 par mission signée

G2 modifie les distributions de pression d’approvisionnement et de complexité des interfaces, ainsi que certains coefficients de réponse. Les bornes restent [2, 70], [2, 70], [1, 35] mois et [0, 60] millions CA pour les reprises. Formules, chocs et graines figurent en annexe A. Documenter le générateur et son usage suit la logique de documentation des jeux de données, sans certifier son réalisme [7].

4.1 Les connaissances de développement restent visibles

Quatre essais pilotes du même programme synthétique ont précédé le protocole principal. Ils ont conduit à l’ajustement borné, aux masques de paramètres par stade et à des changements de réponse modulaire. La mission a été restreinte à un portefeuille contracté à contribution supérieure après des pilotes montrant une économie classique peu attractive et peu d’adoption d’usine. La divulgation de développement conserve ces choix. [F02]

Le spécialiste est donc délibérément adapté à un simulateur connu. Les graines principales diffèrent des pilotes, mais l’opérateur connaît la structure et contrôle apprentissage et évaluation. Protocoles locaux et horodatages assurent la traçabilité, non une préinscription indépendante, une découverte aveugle ou une garde protégée des preuves.

5 Un spécialiste de quatre stades et des alternatives sérieuses

La représentation générique comprend dix signaux, les indicateurs d’usine et d’équipes, et leur interaction. Cinq candidats sont ajustés : ridge standardisé de pénalités 1 et 100 ; ridge polynomial de degré deux et pénalité 10 ; extra trees à 80 arbres ; et boosting par histogrammes à quatre sorties. Ces derniers sont des alternatives non linéaires substantielles. L’annexe B donne tous les réglages ; la version utilisée est scikit-learn 1.8.0 [8].

La représentation structurée contient 39 coordonnées, en blocs de tailles (11, 10, 9, 9). L’approvisionnement utilise interactions logistiques, de pression et de modularité ; les travaux civils utilisent préparation, complexité, météo et équipes ; intégration et reprises utilisent interfaces et qualité. Le modèle possède 39 pentes libres et quatre constantes. L’export dense conserve une matrice 4×39 nulle hors du bloc de chaque stade, ainsi que la normalisation.

5.1 L'objectif réellement ajusté

Pour le stade k , soient z_i les variables standardisées sur l'entraînement, $[L_k, U_k]$ les bornes et y_{ik} le résultat observé borné. L'objectif est

$$\min_{\beta_k, b_k} \frac{1}{2} \sum_i [\text{clip}(z_i^\top \beta_k + b_k, L_k, U_k) - y_{ik}]^2 + \frac{\lambda}{2} \|\beta_k\|^2. \quad (2)$$

L'initialisation provient d'un ajustement ridge ; L-BFGS-B optimise ensuite jusqu'à 500 itérations. Quatre pénalités, $\lambda \in \{0.1, 1, 10, 100\}$, définissent la famille structurée.

La classe source porte le nom `CensoredStageRegressor`. Cependant, l'équation (2) est une *régression pénalisée à sorties tronquées*, non une vraisemblance Tobit ou un modèle probabiliste de censure. La troncature crée des zones plates ; l'objectif n'est généralement pas convexe et aucun optimum global d'apprentissage n'est certifié. Cette précision décrit le code sans le modifier.

Les neuf candidats utilisent les mêmes observations historiques. Chacun est évalué en résolvant trois programmes de développement et en calculant leurs résultats simulés. La sélection séparée des familles générique et structurée maximise la VAN moyenne de développement ; aucun réajustement ne consomme ces données ou les défis. Trois programmes seulement rendent le bruit de sélection important, conformément aux limites connues de l'optimisation d'un critère estimé sur un échantillon fini [9]. Représentation, masques, pertes et recherche générique ne forment pas des ablations appariées : aucune supériorité architecturale universelle n'en découle.

6 Le programme entier de capital et de capacité

La variable $z_{imt} \in \{0, 1\}$ sélectionne le mode m et le début t du site i ; $k \in \{0, 1, 2\}$ compte les cellules d'usine achetées. Il existe $24 \cdot 4 \cdot 7 = 672$ choix binaires et un entier de capacité. Les durées prédites d'approvisionnement, de travaux civils et d'intégration sont $(\hat{p}_{im}, \hat{c}_{im}, \hat{u}_{im})$; les reprises valent $\hat{w}_{im}$. L'achèvement prédit est

$$\hat{d}_{imt} = t + \max\{\hat{p}_{im}, \hat{c}_{im}\} + \hat{u}_{im}. \quad (3)$$

Approvisionnement et travaux civils se déroulent en parallèle dans ce chemin critique stylisé ; l'intégration suit le stade le plus lent.

Pour un flux net annuel A_i , un horizon $H = 20$ ans et $\rho = \log(1.05)$, l'approximation actualisée continue est

$$P_i(d) = \frac{A_i}{\rho} \left(e^{-\rho d/12} - e^{-\rho H} \right). \quad (4)$$

Tous les achèvements réalisables précèdent cette borne commune. Il ne s'agit pas de vingt années d'exploitation après chaque mise en service. Capital de base B_i , frais de mode f_m et cellule $K = 105$ sont déduits sans actualisation. Même une dépense associée à un début tardif est imputée immédiatement. Les frais de politique sont constants pendant son optimisation, puis déduits dans le règlement.

Le planificateur maximise

$$\sum_{i,m,t} z_{imt} [P_i(\hat{d}_{imt}) - B_i - f_m - \hat{w}_{im}] - Kk \quad (5)$$

sous les contraintes

$$\sum_{m,t} z_{imt} = 1 \quad \forall i, \quad (6)$$

$$\sum_{i,m} s_m z_{imt} \leq 4 \quad \forall t, \quad (7)$$

$$\sum_{i,m \geq 2} z_{imt} \leq 4k \quad \forall t, \quad (8)$$

$$\sum_{i,m,t} (B_i + f_m + 60) z_{imt} + 105k \leq 12000. \quad (9)$$

Ici $s_m = (1, 1.25, 0.5, 0.75)$. Les bornes imposent $z_{imt} = 0$ avant disponibilité du site, et avant le mois 12 pour les modes d'usine. La référence classique interdit aussi les autres modes. On compte 39 contraintes explicites : 24 affectations, 14 lignes de capacité et une ligne de trésorerie.

6.1 Portée du certificat numérique

La fonction `mi lp` de SciPy appelle HiGHS avec un écart relatif demandé de 10^{-7} et une limite de 30 secondes [10]. Le code n'accepte que le statut zéro, conserve objectif prédit et borne duale, puis vérifie choix, créneaux, cellules, dates et trésorerie réservée. La borne duale de minimisation changée de signe est une borne *supérieure* de l'objectif maximisé. Le nom du champ source reste inchangé ; son signe est interprété correctement.

Ces enregistrements établissent l'optimalité numérique rapportée par le solveur dans un modèle fini à tolérance donnée. Le vérificateur séparé des choix ne prouve pas indépendamment la recherche par séparation et évaluation. Aucune certification d'installation, aucun ordonnancement continu complet ni aucune provenance réelle ne sont établis.

7 Ce que l'erreur de prévision peut changer

L'ensemble réalisable des équations (6)–(9) dépend des disponibilités, capacités, capitaux et d'une réserve fixe, non des durées prédites. Une erreur de prévision modifie l'objectif et le choix, mais pas cet ensemble modélisé. Cette séparation est utile et limitative : l'occupation réelle et la trésorerie temporelle dépendraient généralement des achèvements.

Proposition 1 (Couverture de la réserve dans les bornes déclarées). *Si un plan respecte l'équation (9) et si chaque coût de reprise satisfait $0 \leq w_{im} \leq 60$, ses dépenses de construction modélisées ne dépassent pas la réserve. Les frais de politique et les coûts réels omis sont exclus.*

Démonstration. Remplacer chaque w_{im} réalisé par sa borne 60 dans la somme des dépenses. L'affectation garantit un terme par projet ; frais de mode et de cellule sont inchangés. La somme obtenue est exactement la contrainte de réserve. $\square$

Proposition 2 (Enveloppe conditionnelle entre prévision et valeur). *Pour $A_i > 0$ et des achèvements non négatifs, l'erreur absolue de valeur d'une option est majorée par*

$$\epsilon_{im} = \frac{A_i}{12} (\max\{|p_{im} - \hat{p}_{im}|, |c_{im} - \hat{c}_{im}|\} + |u_{im} - \hat{u}_{im}|) + |w_{im} - \hat{w}_{im}|. \quad (10)$$

Si le plan prédit est à moins de η de son optimum prédit, son regret à frais égaux face à l'optimum vrai du même ensemble réalisable est au plus $2 \sum_i \max_m \epsilon_{im} + \eta$.

Démonstration. La fonction maximum est 1-lipschitzienne pour la norme sup. L'équation (4) donne $|P'_i(d)| = (A_i/12)e^{-\rho d/12} \leq A_i/12$. L'inégalité triangulaire établit (10). Ajouter et soustraire les objectifs prédits aux optimiseurs vrai et prédit. La différence intermédiaire vaut au plus η ; chacune des deux sommes d'erreurs est bornée par $\sum_i \max_m \epsilon_{im}$. $\square$

Cette borne élémentaire est conservatrice et conditionnelle, non un nouveau théorème statistique de généralisation. Un calcul secondaire vérifie l'enveloppe des options et le regret sur 128 couples politique-programme : FORGE et Bêta sur les 64 programmes finaux. Il utilise les résultats contrefactuels conservés; ce n'est pas un certificat d'incertitude en ligne. L'écart numérique provient de l'objectif et de sa borne supérieure sauvegardés.

Insérer des réponses moyennes dans un maximum et une exponentielle n'équivaut pas à intégrer une distribution prédictive complète. FORGE représente des réponses ponctuelles, non ce problème stochastique complet. La référence rétrospective utilise les résultats potentiels synthétiques et le même ensemble réalisable, avec les frais de FORGE. Elle borne la VAN modélisée de FORGE, non inconditionnellement celle d'une politique facturée différemment.

8 Alpha concurrentiel et deux incertitudes distinctes

Pour un programme j et une politique π , le règlement reconstruit l'achèvement à partir du mode sélectionné, puis calcule

$$V_j(\pi) = \sum_i P_i(d_i^\pi) - \left[105k^\pi + \sum_i (B_i + f_{m_i}^\pi + w_{i,m_i}^\pi) \right] - F_\pi. \quad (11)$$

Les frais sont respectivement 2, 8, 10, 10 et 10 millions CA pour classique, Bêta, FORGE, ancêtre et information parfaite. Les réserves libérées ne deviennent pas des bénéfices : seule la dépense de construction modélisée est déduite.

L'Alpha concurrentiel est

$$\alpha_j = V_j(\pi_F) - \max\{V_j(\pi_B), V_j(\pi_L)\}. \quad (12)$$

Le maximum est défini par programme avant moyennage. Dans l'échantillon final conservé, Bêta dépasse classique sur chaque programme; la moyenne coïncide donc avec FORGE moins Bêta. C'est une propriété vérifiée de cet échantillon, non une hypothèse de dominance universelle.

8.1 Cohortes réajustées

Chaque résultat de cohorte moyenne huit programmes de défi pour sa nouvelle paire de modèles sélectionnés. Dans chaque régime, un intervalle de Student utilise huit moyennes et sept degrés de liberté. Il reflète répétition synthétique, ajustement et sélection selon la procédure choisie. Huit réajustements n'en constituent pas une large validation externe.

8.2 Composition finale gelée

Le protocole prédésigne l'essai zéro, génération deux. Un nouveau défi de 64 programmes utilise les graines 1 800 000–1 800 063, les modèles gelés et une marge de supériorité nulle. Ce n'est **pas** la marge pratique de deux millions par année du précédent HELIOS. Quatre mille échantillons bootstrap, graine 1 980 000, tirent avec remise des programmes entiers; chaque tirage moyenne les α_j conservés et utilise les quantiles.

L'appariement par programme préserve les chocs communs aux sites. Les travaux sur le bootstrap en grappes motivent le respect de cette dépendance [11]. L'intervalle conditionne sur composition, générateur connu, économie fixe et effets construits. Il ne répète pas la sélection et n'estime pas l'incertitude des contrats industriels. Ce n'est ni une garantie simultanée de toutes les prétentions ni un reçu indépendant.

9 Résultats : un spécialiste gelé utile, non une procédure universelle

G1 présente un Alpha moyen de 4,219 M\$ CA, un intervalle entre réajustements de 0,669 M\$ CA à 7,769 M\$ CA et sept essais positifs. G2 présente 2,795 M\$ CA, un intervalle de -0,762 M\$ CA à 6,351 M\$ CA et sept essais positifs également. Ce dernier recoupe zéro. Le registre complet de seize lignes figure à l'annexe C.

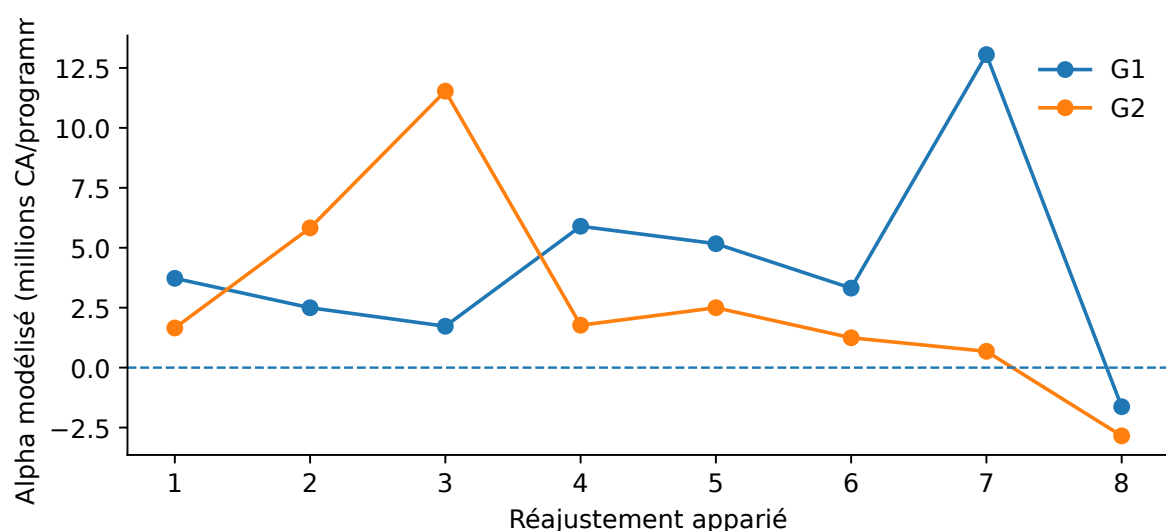


FIGURE 2. Huit réajustements appariés par régime. Chaque point moyenne huit programmes réservés. Les essais négatifs sont conservés. Les valeurs sont des VAN synthétiques, non des rendements annuels.

La composition finale gelée produit un Alpha moyen de 5,715 M\$ CA, avec un intervalle conditionnel à 95% de 3,666 M\$ CA à 7,902 M\$ CA. Elle gagne sur 44 programmes ; vingt ne gagnent pas. Le test local à marge nulle réussit sans résoudre l'incertitude des futurs réajustements G2.

TABLE 4. Défi final gelé. Mêmes 64 programmes ; VAN en millions CA, achèvement en mois.

Politique	VAN (M CA)	Mois	Sites à 48
Classique	2 121,355	63,12	3,33
Bêta sélectionné	2 638,507	52,46	9,28
FORGE	2 644,222	52,53	9,25
Ancêtre inchangé	2 639,473	52,60	9,19
Information parfaite	2 649,282	52,41	9,41

Le gain final moyen face à classique est de 522,867 M\$ CA ; celui face à l'ancêtre de 4,749 M\$ CA ; le regret rétrospectif restant de 5,059 M\$ CA. Ces contrastes ne s'additionnent pas. L'Alpha étroit représente environ 0,217% de la VAN moyenne de Bêta. Les grands montants absolus proviennent d'un scénario intensif en capital, non d'un multiplicateur universel d'intelligence démontré.

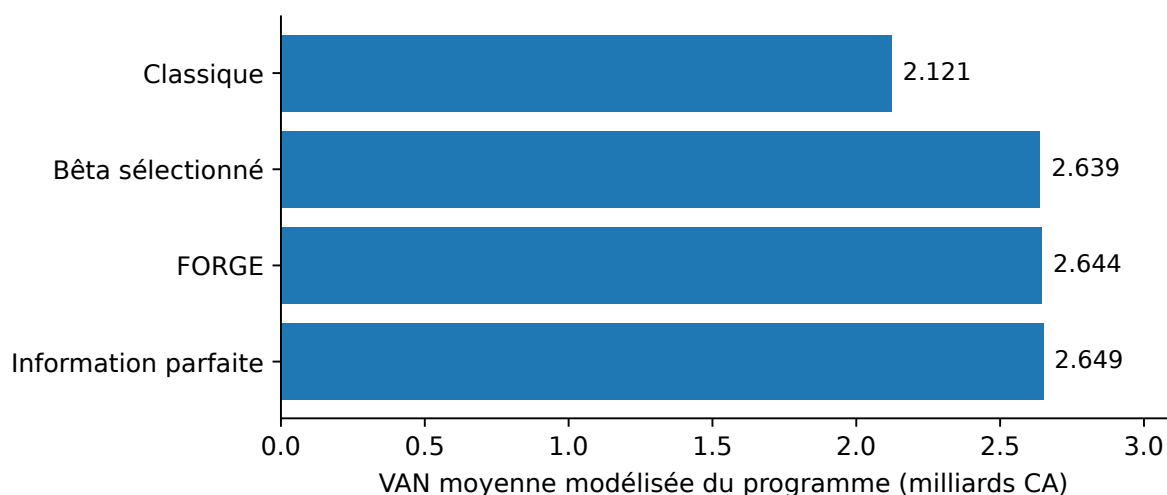


FIGURE 3. Valeurs finales : VAN modélisée sur vingt ans. L'information parfaite n'est pas déployable ; l'ancêtre est le prévisionniste structuré G1 inchangé.

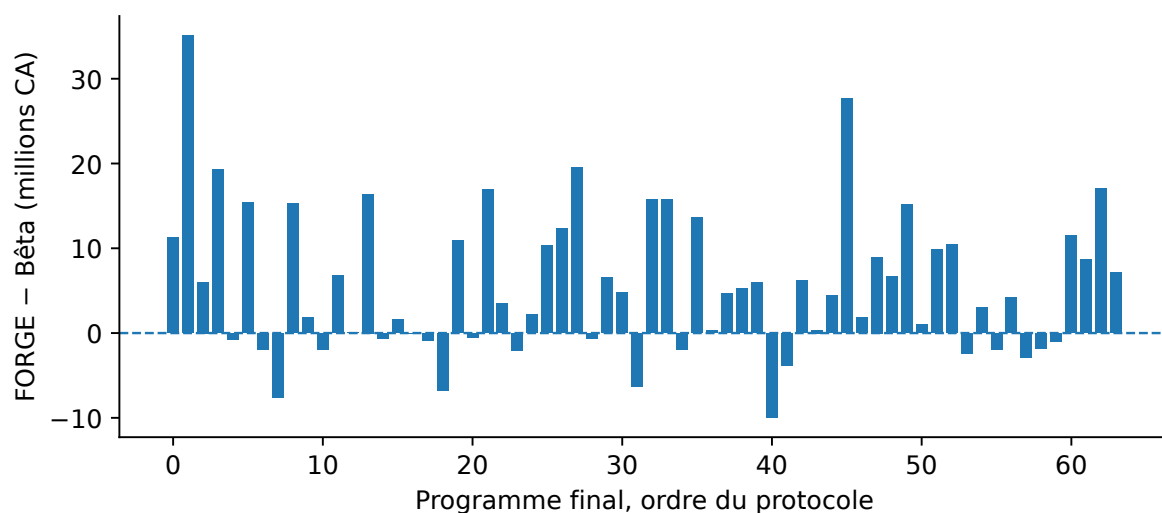


FIGURE 4. Tous les Alpha finaux dans l'ordre initial du protocole. Une moyenne positive ne supprime pas les pertes. Les 64 programmes sont des instances simulées alternatives, non des revenus additionnables.

Le total initial est de 1 328 résolutions : 432 en développement, 576 pour les défis principaux et 320 finaux. Répétitions, stress et options de capacité secondaires ne sont pas ajoutés à ce total. Les 896 plans de défi conservés sont inspectables.

10 Dans la première proposition conservée

Le premier programme final est retenu par ordre de protocole, non pour sa valeur. Sa proposition achète une cellule, réserve 10 586 540 000 \$ CA à la construction et aux reprises (arrondi à dix mille dollars), puis affecte un mode et un début aux 24 sites. La réserve exacte reste dans le rapport numérique. La commande opérationnelle lit signaux, capital, flux annuels et disponibilités; elle refuse les champs de résultats futurs.

Les indices source commencent à zéro. Cet article imprime SITE-01 pour l'indice zéro. Le premier choix différent concerne donc SITE-02 : Bêta choisit un mode d'usine au mois 12, FORGE un mode classique au mois 6. Pour SITE-03, FORGE retient usine et équipes intégrées au mois 24 plutôt que le classique de Bêta au mois 6. La mention isolée « Site 01 » du dossier narratif est corrigée selon l'identifiant réel commençant à un. Aucun choix ni résultat n'est modifié.

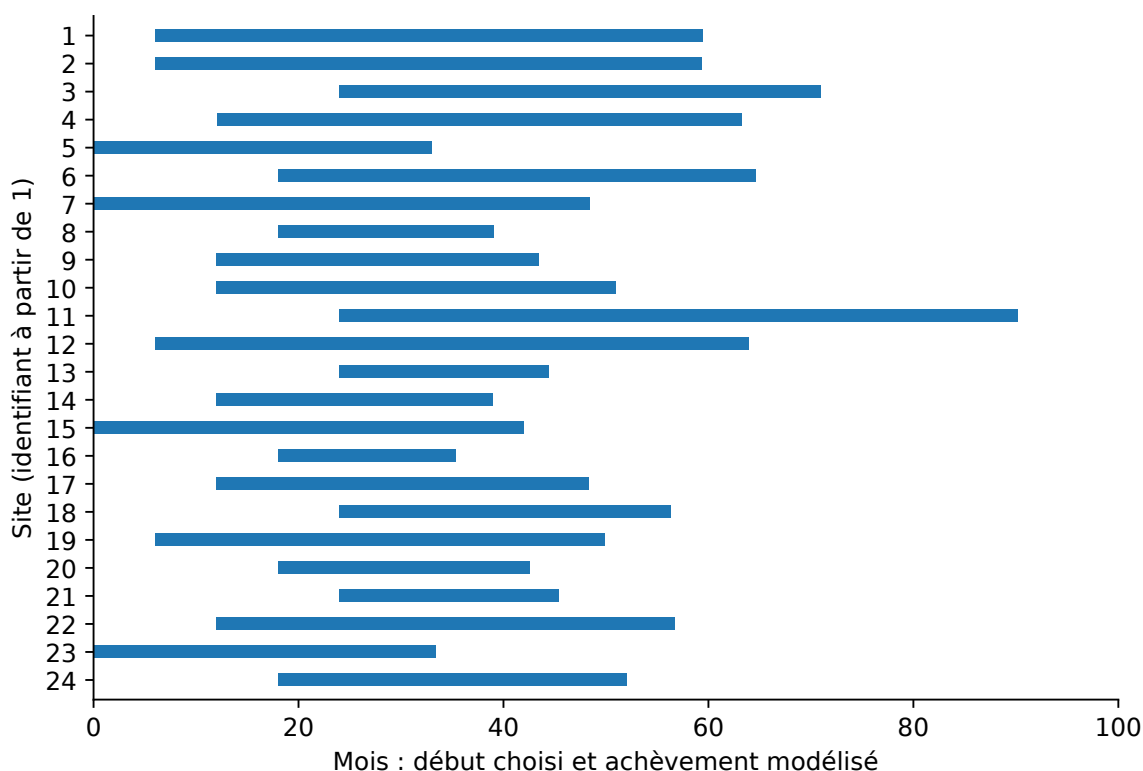


FIGURE 5. Premier programme FORGE conservé. Les segments relient début choisi et achèvement synthétique, sans représenter une occupation continue de ressources. L'annexe E détaille les 24 sites.

Ce programme produit une VAN de 2848,31 M\$ CA, contre 2837,01 M\$ CA pour Bêta et 2386,87 M\$ CA classiquement. FORGE compte dix campus en exploitation au mois 48, Bêta neuf, classique six. FORGE égale la valeur rétrospective sur ce témoin, non sur l'ensemble du défi.

La décision coordonne un portefeuille. Elle n'applique pas systématiquement l'usine à tous les sites : un début tardif peut être retenu si un autre site dispose d'un meilleur usage du créneau. Ce résultat ne constitue pas une recommandation pour un site réel portant une étiquette similaire.

11 Attribution du capital : valeur et vitesse divergent

L'Alpha final se décompose exactement ainsi :

$$\begin{aligned}\bar{\alpha} &= \underbrace{I_B - I_F}_{12.618191} + \underbrace{P_F - P_B}_{-4.902871} - \underbrace{(F_F - F_B)}_{2.000000} \\ &= 5.715320 \text{ millions CA par programme.}\end{aligned}\quad (13)$$

FORGE réduit le capital, sacrifie une part des flux actualisés et paie davantage de frais. L'achèvement moyen est retardé de 0,070614 mois face à Bêta, soit environ deux jours. Face au classique, il est avancé de 10,585631 mois. Ces comparaisons répondent à des questions différentes.

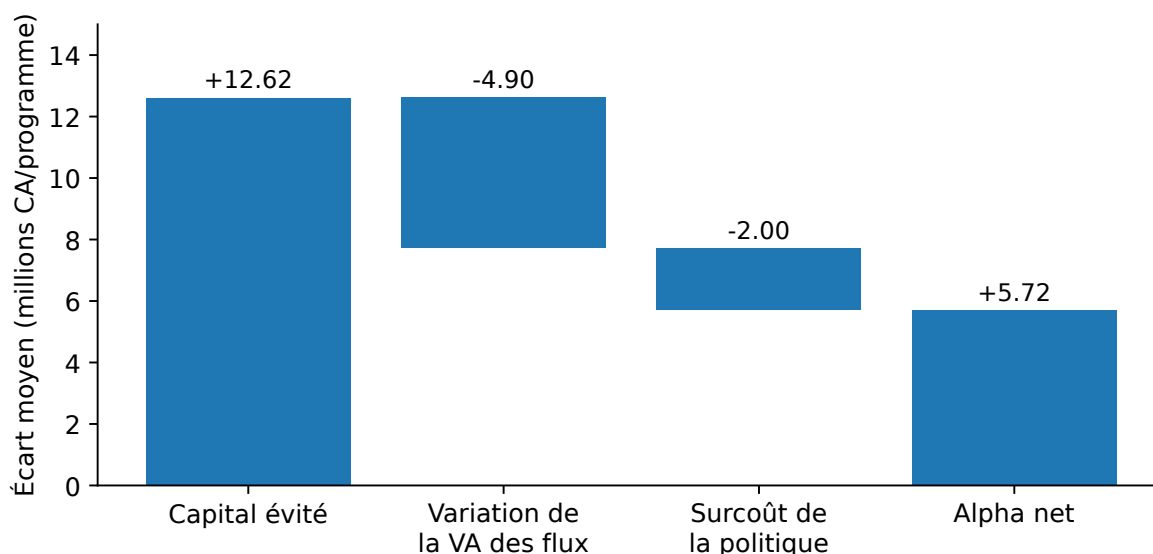


FIGURE 6. Attribution exacte du défi final. Le capital évité n'est pas l'Alpha complet : la réduction des flux actualisés et le surcoût de politique doivent être déduits.

Le gain total face au classique comprend une modification stratégique : ce dernier n'accède pas aux autres modes, tandis que Bêta et FORGE peuvent acheter la capacité d'usine. Le contraste face à Bêta est plus étroit, sans être une ablation causale pure des variables ou de la perte. La conception de l'apprentissage et sa sélection diffèrent ensemble.

Un diagnostic secondaire des frais garde les décisions fixes. Avant surcoût de politique, l'avantage moyen est de 7,715 M\$ CA. Un surcoût FORGE de cette ampleur face à Bêta annule le gain ponctuel. La borne conditionnelle inférieure translatée atteint zéro vers 5,666 M\$ CA de surcoût. Ce sont des seuils algébriques sur sorties fixes, non des tarifs recommandés ou des probabilités de profit réel.

12 Capacité avancée et prochain goulot chiffré

Au mois 48, FORGE compte en moyenne 9,25 campus, contre 3,328125 classiquement : 296,094 MW disponibles plus tôt. Sur les 72 premiers mois, il ajoute 0,893198 GW-années de disponibilité relative au classique. Bêta demeure légèrement plus rapide. Toutes les politiques atteignent finalement les mêmes 24 campus.

La capsule initiale chiffre aussi une question secondaire sur le premier témoin : un ou deux créneaux supplémentaires à 90 000 000 \$ CA chacun. Ces coûts réduisent budget de construction et VAN. Quatre créneaux produisent 2848,31 M\$ CA ; cinq, 2963,84 M\$ CA après frais ; six,

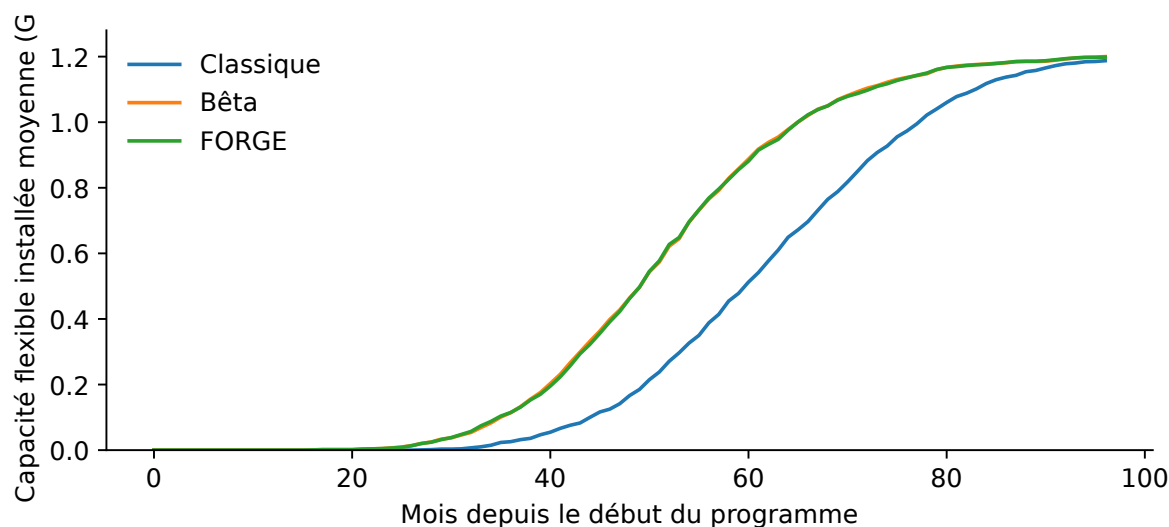


FIGURE 7. Capacité installée cumulée moyenne des programmes finaux. Trajectoire sous achèvements synthétiques, non calcul utile livré, énergie consommée ou découvertes scientifiques.

3032,08 M\$ CA après une dépense de 180 M\$ CA. Le dernier résultat dépasse le témoin initial d'environ 183,76 M\$ CA, coût inclus.

C'est une sensibilité sur un seul programme, non un nouvel Alpha concurrentiel ou une preuve d'acquisition possible. Elle crée une obligation : la mobilisation qualifiée peut-elle réellement être obtenue au prix et à la date prévus ? La recherche industrielle traite d'approvisionnement, fabrication, matériaux et main-d'œuvre [12] ; aucune de ces informations ne calibre le simulateur.

13 Revalorisation secondaire et regret décisionnel

La publication ajoute deux diagnostics explicitement secondaires, sans réentraînement ni modification d'un plan. Elle vérifie d'abord la proposition 2 sur les résultats potentiels finaux. Les 128 enveloppes politique-programme sont respectées dans le modèle. La borne est volontairement conservatrice ; sa vérification n'établit ni faible regret ni intervalle de confiance réel.

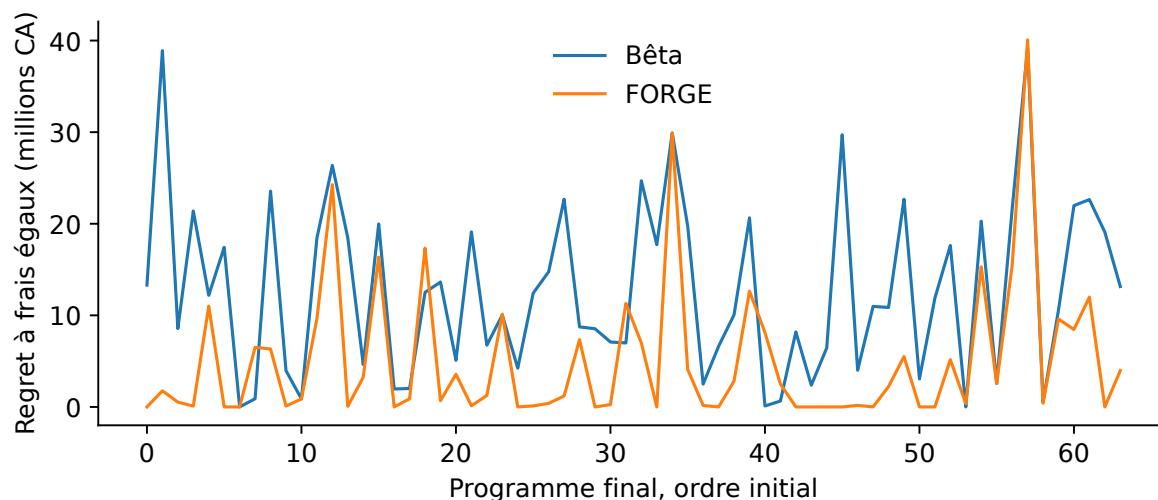


FIGURE 8. Regret à frais égaux des plans Bêta et FORGE. Les frais de politique sont retirés pour isoler les décisions. La vérité contrefactuelle n'est disponible que dans le simulateur.

Ensuite, une grille de 15 cas fait varier l'actualisation annuelle entre 0%, 3%, 5%, 8% et 12%, et multiplie le *flux net annuel d'exploitation* de chaque site par $q \in \{0.8, 1, 1.2\}$. Elle ne multiplie pas le seul revenu contractuel. Capital, frais et calendriers restent fixes. À taux nul, la limite continue est $A_i(20 - d/12)$.

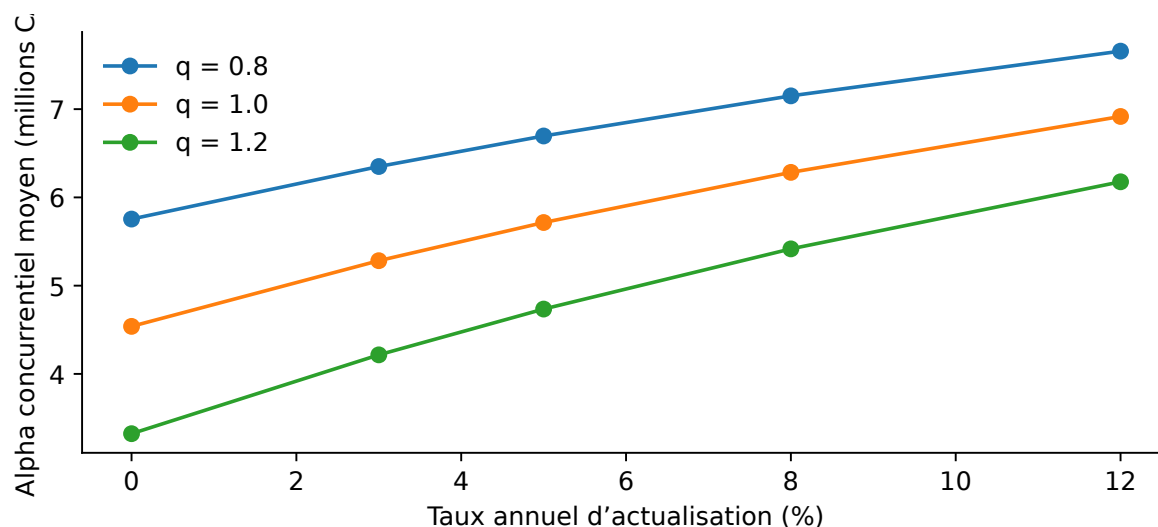


FIGURE 9. Revalorisation secondaire de plans fixes. Un Alpha relatif positif peut accompagner une VAN absolue négative. Aucun candidat n'est resélectionné ni aucun plan réoptimisé.

À 8% et $q = 1$, la VAN moyenne FORGE devient environ -537,89 M\$ CA, alors que son Alpha relatif reste de 6,284 M\$ CA. Une meilleure politique de livraison ne rend pas nécessairement l'investissement engagé attractif. Choisir de construire ou d'annuler exigerait un autre ensemble réalisable et une nouvelle expérience. L'annexe F conserve toute la grille, y compris les valeurs absolues défavorables.

14 Succession signée, garde des preuves et autorité

Les missions natives conservent constitutions, données admises, paramètres appris, chronique et lien à l'ancêtre. La première nouvelle mission référence HELIOS G2; la seconde référence cette première enveloppe FORGE. Les régimes FORGE G1/G2 correspondent donc aux générations natives 3/4. Les gagnants natifs sont respectivement Conservative Steward et Compact Explorer. Le nouvel entraînement ne transfère pas les poids du prédécesseur.

L'implémentation utilise une clé publique et une étiquette de propriétaire autoémises. La signature lie les octets à cette clé; un défi de possession vérifie l'usage de la clé privée correspondante. Les normes de signature traitent de détection des modifications et d'authentification selon leurs hypothèses de confiance [13]. Ici, aucune identité indépendante, propriété juridique, exclusivité, date de confiance ou vérité de performance n'est établie. Seule la clé privée est chiffrée; mission et preuves restent lisibles.

La décision locale lie les empreintes exactes des modèles et sources et interdit les effets externes. Son statut A0 autodéclaré n'est pas un service distant d'application des politiques. Un autre appelant pourrait l'ignorer sans passerelle contrôlée séparément. Vérification, lecture du code et répétitions sont exécutées dans la même démarche, non par une institution indépendante. [F07-F09]

15 Travaux connexes et limites de qualification

L'analytique prescriptive relie données et décisions [4]; les méthodes décisionnelles peuvent intégrer les objectifs en aval à l'entraînement [3, 5]. FORGE emploie une chaîne modulaire plus simple, avec sélection fondée sur la décision. Son apport est l'exemple complet de mission conservée et son attribution, non une nouvelle garantie de régression tronquée ou de programmation entière.

Fiches de modèles et documentation des données motivent portée, usages et limites explicites [14, 7]. FORGE étend ce registre aux capacités payantes, alternatives, filiation signée et états d'admission séparés. Cette continuité est démontrée, mais sa valeur causale supplémentaire face à un processus Bêta également bien documenté n'est pas mesurée. Le cadre NIST AI RMF 1.0 fournit une référence de risque sur le cycle de vie [15]; il ne certifie pas l'artefact et ne définit pas le vocabulaire ASI spécialisée du produit.

15.1 Limites qui restent importantes

Conception de la tâche. Simulateur et représentation ont le même auteur. Les changements issus des pilotes favorisent un portefeuille contracté où l'usine peut être utile. Validité des signaux, effets réels et conditions de fourniture ne sont pas mesurés. La randomisation des modes reste synthétique.

Sélection et incertitude. Huit réajustements par régime et trois programmes de développement sont limités. L'intervalle final conditionne sur une paire gelée; il ne répare pas l'incertitude de la procédure G2 et ne représente pas le meilleur spécialiste externe disponible.

Abstraction physique. Mobilisation et kits sont comptés aux démarrages, non pendant tout le travail. Le délai d'usine est exact, sa capacité uniforme et les frais forfaitaires. La réserve couvre des reprises bornées, pas tous les coûts industriels. Permis, réseau électrique, occupation des équipes, raccordement et déploiement cyberphysique sont absents.

Transport économique. Ni fiscalité, dette, érosion de demande, défaut, dates des paiements de construction ou vente terminale ne sont représentés. La capacité n'est pas de la trésorerie; la VAN n'est pas un revenu; les engagements sont obligatoires. L'article n'est pas une recommandation d'investissement immobilier ou industriel.

Contrat d'acceptation réel, non reçu déjà exécuté

Avant toute prétention opérationnelle : acquérir des preuves autorisées et indépendamment conservées; valider adaptateur et effets des modes; geler planificateur et meilleurs comparateurs réalisables; déclarer marge pratique, pertes et arrêts; proposer en observation supervisée; mesurer ensuite des résultats autorisés. Seul un responsable peut accorder des effets bornés et révocables. Aucun de ces événements futurs n'est déclaré accompli ici.

16 Acheter un ensemble réalisable plus large

ÉDITION 2 / ÉTUDE SECONDAIRE DE CAPACITÉ EXÉCUTÉE / MODÈLES INITIAUX INCHANGÉS

Le premier cas témoin posait une question plus vaste que le choix d'un mode de réalisation : le propriétaire peut-il acheter de meilleures possibilités de livraison ? L'édition 2 applique le même menu de capacité payante aux deux modèles gelés sur les 64 programmes finaux conservés. L'analyse est explicitement post hoc : leurs résultats étaient déjà disponibles. Aucun nouvel apprentissage, défi en aveugle, contrôle indépendant des preuves ou changement de qualification principale n'est revendiqué.

Chaque planificateur choisit quatre, cinq ou six créneaux de mobilisation par semestre. La capacité supplémentaire coûte respectivement 0, 90 ou 180 millions CA, payés une fois au niveau du programme. Le prix est déduit à la fois de l'enveloppe de construction et de la VAN. Cellules d'usine, capacité en kits, engagements et frais de politique restent inchangés. La disponibilité aux prix et dates annoncés est supposée, non démontrée. L'option initiale à quatre créneaux demeure disponible : refuser l'achat supplémentaire reste réalisable.

Pour le menu $\mathcal{U}$, le choix de capacité u , le prix κ_u et la politique s , on définit

$$(\hat{u}_s, \hat{x}_s) \in \arg \max_{u \in \mathcal{U}, x \in \mathcal{X}_u} \{\hat{J}_s(x) - F_s - \kappa_u\}. \quad (14)$$

La sélection utilise uniquement la valeur prévue ; l'évaluation emploie ensuite les résultats synthétiques conservés. L'étude exécute 384 résolutions entières : deux politiques, trois options et 64 programmes. Des équations réécrites séparément vérifient affectation des projets, disponibilité, mobilisation, kits, réserves de construction et VAN évaluée. [F13]

Proposition 3 (Une option ne garantit pas une amélioration effective). *Si l'option initiale sans achat appartient à $\mathcal{U}$, le meilleur objectif prévu sur $\mathcal{U}$ est au moins égal à l'objectif prévu initial, à la tolérance du solveur près. Cela n'implique pas que le plan retenu possède une plus grande valeur lors de l'évaluation des résultats.*

Démonstration. La décision initiale reste candidate à la maximisation externe, d'où l'inégalité de prévision. Cette maximisation utilise $\hat{J}_s$, et non la fonction de résultat inconnue J . Leurs classements peuvent différer ; la même inégalité ne s'applique donc pas nécessairement aux résultats. $\square$

TABLE 5. Sensibilité au menu élargi sur la cohorte finale existante. Millions CA par programme ; achats et frais de politique inclus.

Politique	VAN, quatre créneaux	VAN, menu payant	Gain propre
Bêta	2 638,507	2 788,151	149,644
FORGE	2 644,222	2 791,263	147,040

FORGE améliore sa propre décision à quatre créneaux de 147,040 M\$ CA en moyenne, avec un intervalle conditionnel de [138,892 M\$ CA, 155,033 M\$ CA]. Bêta gagne 149,644 M\$ CA. Chaque politique choisit six créneaux sur 63 programmes et cinq sur un, sans que ce décompte établisse à lui seul l'identité des affectations. L'achat moyen de capacité atteint 178,594 M\$ CA par politique. FORGE avance l'achèvement moyen de 3,165 mois par rapport à son propre plan initial. Les 64 gains correspondants sont positifs dans cette sensibilité ; la garantie générale reste limitée à la prévision formulée ci-dessus.

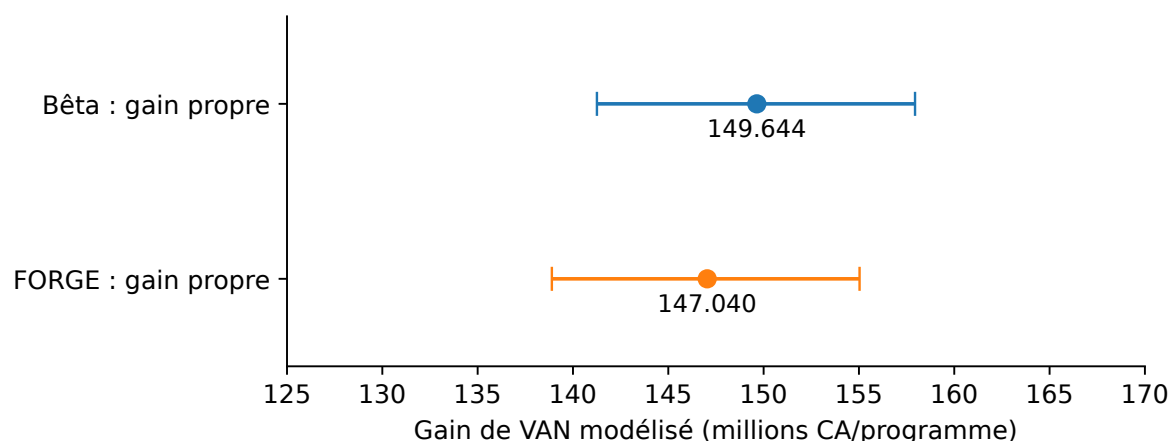


FIGURE 10. L'achat de capacité apporte de la valeur aux deux modèles gelés dans ce scénario secondaire. Chaque gain compare le modèle à *sa propre* politique initiale à quatre créneaux ; il ne s'agit pas d'Alpha concurrentiel ni d'un bénéfice attribuable exclusivement à FORGE.

16.1 Le concurrent peut acheter la même amélioration

Soit $G_s = V_s(\mathcal{U}) - V_s(u_0)$ le gain du menu sur l'option initiale. Pour les deux mêmes politiques,

$$\alpha_{\mathcal{U}} - \alpha_0 = G_F - G_B. \quad (15)$$

Une forte hausse de la valeur absolue peut donc coexister avec une diminution de l'avantage comparatif. Ici, Bêta obtient 2,603 M\$ CA de bénéfice supplémentaire moyen grâce au menu. L'Alpha moyen de FORGE contre le Bêta disposant du menu vaut 3,112 M\$ CA, avec un intervalle conditionnel apparié de [1,026 M\$ CA, 5,202 M\$ CA] ; il est positif sur 36/64 programmes. Ce n'est pas le résultat initial de 5,715 M\$ CA, et il ne s'y ajoute pas.

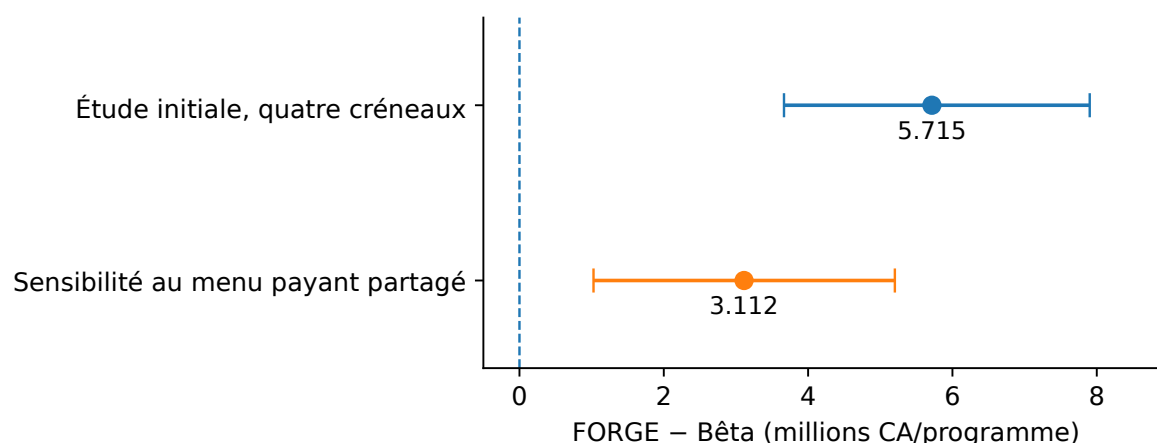


FIGURE 11. La comparaison principale initiale et la nouvelle sensibilité au menu partagé répondent à des questions différentes. L'intervalle initial conserve sa graine d'origine ; celui du menu utilise la graine secondaire. Tous deux sont conditionnels aux programmes synthétiques, aux modèles ajustés et à l'économie fixée.

La réponse institutionnelle consiste à conserver la possibilité plus importante *et* à restreindre la prétention de supériorité. Prétendre qu'un concurrent sérieux ne peut accéder à une option d'usine ou de mobilisation disponible n'apporte aucune connaissance utile au détenteur du capital. Quand l'ensemble réalisable change, la comparaison doit changer avec lui.

17 La frontière de l'avantage au capital

ÉDITION 3 / SENSIBILITÉ EXÉCUTÉE SUR RÉSULTATS FIXES / AUCUN NOUVEL ÉCHANTILLON DE QUALIFICATION

La question économique change lorsqu'un spécialiste utile devient un actif institutionnel proposé. L'acquéreur doit déterminer non seulement si un contraste synthétique est positif, mais quelle part de son avantage avant frais doit subsister après imitation, frictions d'intégration ou inadéquation au domaine pour justifier le coût supplémentaire. Ces mécanismes ne sont pas mesurés ici. L'édition 3 construit donc une *frontière d'hypothèses* explicite, sans transformer silencieusement l'estimation initiale en richesse durable.

Soit $d_i = V_{F,i} - V_{B,i}$ le contraste net d'un programme conservé, et $h_0 = 2$ le coût supplémentaire initial de la politique, en millions de dollars canadiens. L'écart avant frais est $g_i = d_i + h_0$. Introduisons une fraction de conservation déclarée $q \in [0, 1]$ et une provision totale de coût supplémentaire $h \geq 0$:

$$d_i(q, h) = qg_i - h, \quad \bar{a}(q, h) = q\bar{g} - h. \quad (16)$$

Le cas initial correspond à $(q, h) = (1, 2)$. La transformation réduit les écarts favorables comme défavorables avant frais. Ce n'est ni une probabilité de réussite, ni un mécanisme de correction sélective des erreurs, ni une description empirique des concurrents. Les décisions, plans de construction, contrats de projet et paramètres ajustés restent fixes.

Proposition 4 (Frontière affine conditionnelle). *Pour les tirages bootstrap appariés de la même moyenne de programme, soit $[L_0, U_0]$ l'intervalle conservé de d_i sous h_0 . Pour $q \geq 0$, l'intervalle des percentiles transformés est*

$$[L(q, h), U(q, h)] = [q(L_0 + h_0) - h, q(U_0 + h_0) - h]. \quad (17)$$

Si le dénominateur est positif, la borne inférieure conditionnelle est positive exactement lorsque $q > h/(L_0 + h_0)$; l'égalité donne zéro.

Démonstration. La même transformation affine croissante s'applique à chaque moyenne rééchantillonnée. Pour $q > 0$, l'ordre de ses percentiles est conservé; pour $q = 0$, tous les tirages valent $-h$. La résolution de l'inégalité de la borne inférieure donne le seuil. Il s'agit d'une identité comptable conditionnelle au rééchantillonnage initial, pas d'un nouveau théorème de couverture. $\square$

TABLE 6. Seuils de conservation avec le coût supplémentaire initial de 2 M\$ CA. Fractions décimales; diagnostics secondaires sur les mêmes 64 programmes.

Grandeur	Menu initial	Menu élargi
Écart moyen avant frais, millions CA	7,715	5,112
Seuil ponctuel de rentabilité q	0,2592	0,3912
Seuil de la borne inférieure conditionnelle q	0,3530	0,6609
Moyenne nette à $q = 0.5$, millions CA	1,858	0,556
Borne inférieure conditionnelle à $q = 0.5$	0,833	-0,487

Le menu élargi augmente la valeur absolue des programmes des deux entreprises, mais laisse moins de marge comparative. Avec la moitié de l'écart supposé avant frais, le contraste initial conserve une borne inférieure positive, contrairement au menu élargi. Cela n'invalide pas l'achat de capacité : le gain économique propre à l'achat et la marge comparative du spécialiste relèvent de décisions différentes.

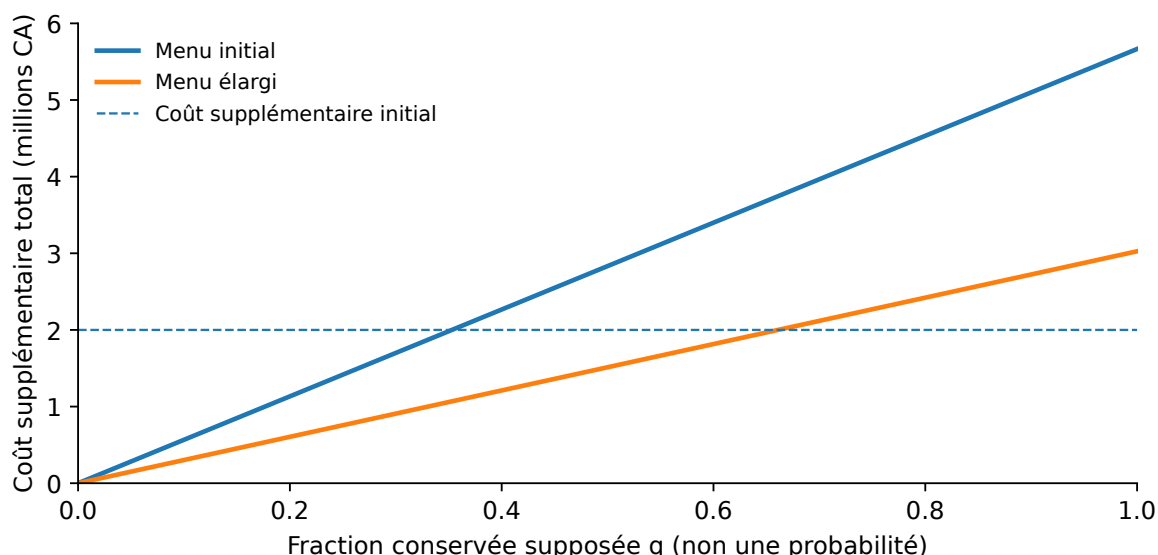


FIGURE 12. Coût supplémentaire total de politique compatible avec une borne inférieure conditionnelle positive, selon la fraction supposée de l'écart avant frais qui subsiste. Les courbes transforment des intervalles bootstrap existants; elles ne sont ni des prévisions réelles de rentabilité, ni des garanties de confiance simultanées sur la grille.

L'analyse livrée évalue 8 262 combinaisons de régime, conservation et coût. Elle rapproche les moyennes et intervalles initiaux, vérifie les percentiles affines par rééchantillonnage direct et préserve l'identité d'attribution de chaque programme. Les deux régimes conservent leurs graines bootstrap initiales. La grille n'ajoute aucune observation indépendante et ne doit pas être comptée comme des milliers de nouvelles expériences. [F14]

17.1 Une grande possibilité productive ne constitue pas automatiquement une rente exclusive

L'avantage moyen initial représente environ 0,217% de la VAN modélisée de Bêta; celui du menu élargi, environ 0,112%. Ces proportions contextualisent l'échelle; elles ne représentent pas un rendement du prix de détail du logiciel. Le propriétaire doit estimer séparément le coût d'acquisition des preuves, du maintien de l'intervention, de la réaction à la concurrence et de la gouvernance institutionnelle. Ni une signature ni la possession du fichier de modèle n'éliminent ces incertitudes.

De même, q n'est pas une loi de persistance estimée. Choisir une valeur favorable après consultation de la figure ne constitue pas une évaluation préalable de l'investissement. Une proposition réelle doit fixer à l'avance une plage prudente étayée par des preuves, comparer la composition complète aux solutions actuelles réalisables et chiffrer ses obligations supplémentaires. Une marge pratique prospective δ donne $q(L_0 + h_0) - h > \delta$, sans corriger la validité du domaine synthétique.

18 Une capacité achetable exige un dossier de livraison

L'expérience de menu suppose qu'une mobilisation supplémentaire qualifiée peut être achetée au prix synthétique et utilisée aux dates requises. La prochaine mission doit tester cette hypothèse. La valeur financière d'un planificateur exploitant une capacité indisponible n'est pas une richesse dépensable.

Dans un compte *prospectif* volontairement simple à deux états, soit G la VAN supplémentaire du menu lorsque la capacité est livrée, K son prix et $a \in [0, 1]$ la fraction de ce prix perdue en cas d'échec. Soit p une probabilité de réussite *supposée*, non estimée. Supposons qu'un échec permette de reprendre le plan initial sans retard ni dommage supplémentaire. Alors

$$\mathbb{E}[\Delta V] = pG - (1 - p)aK, \quad p_{BE} = \frac{aK}{G + aK}. \quad (18)$$

Cette récupération du plan est une simplification particulièrement forte; remplacement, retard, requalification et pertes consécutives exigeraient leurs propres termes. L'espérance n'est pas une réserve de liquidité et n'établit pas l'acceptabilité du risque de perte.

Avec le gain moyen conservé de FORGE $G = 147,040449$ et le prix moyen $K = 178,59375$ millions CA, le scénario de capital entièrement à risque exige $p > 0,548449$ pour une valeur moyenne positive. À $p = 0.5$ supposé, il perd environ 15,777 M\$ CA; à $p = 0.75$, il gagne environ 65,632 M\$ CA. Ce sont des calculs conditionnels illustratifs, non une mesure de fiabilité fournisseur. Le scénario moyenne les valeurs des programmes avant d'appliquer un p commun; il ne certifie aucun projet particulier.

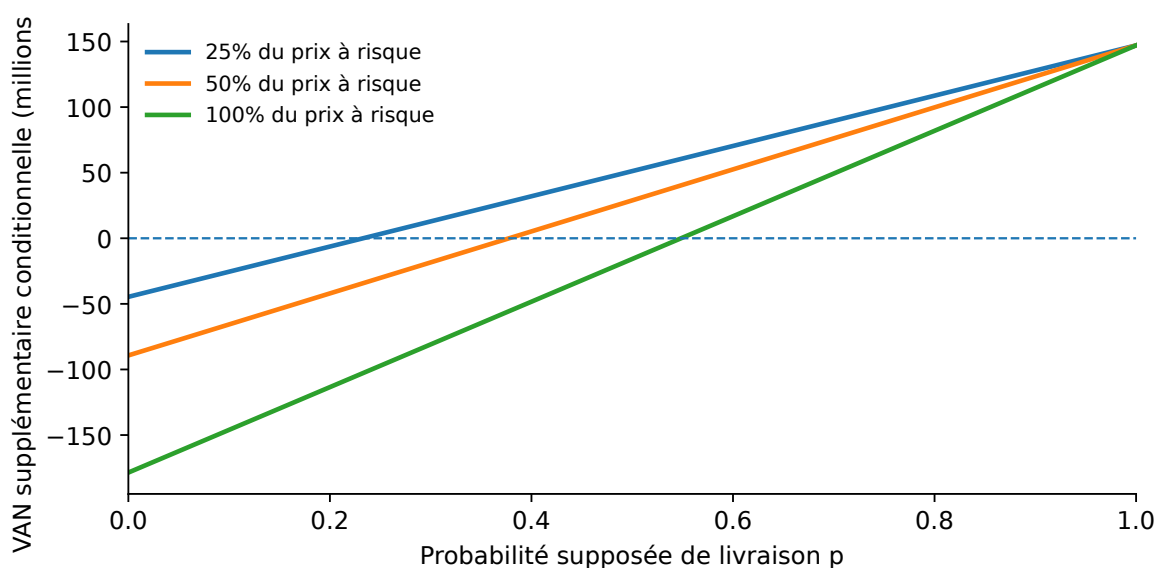


FIGURE 13. Réussite de livraison supposée et capital à risque. Les courbes maintiennent fixe le gain précédemment modélisé en cas de livraison et supposent le rétablissement du plan initial après échec. La gravité réelle des pertes, la dépendance des livraisons et les retards ne sont pas estimés.

La question d'approvisionnement qui mérite un financement

Un fournisseur identifié peut-il livrer la capacité qualifiée promise, dans les unités et aux dates critiques requises, à un coût total opposable et avec un recours acceptable en cas d'échec? La réponse exige des preuves d'ingénierie autorisées, une diligence commerciale et une contractualisation responsable. FORGE formule la question et un point de comparaison; il n'y répond pas en déclarant un champ `qualified=true`.

19 Le certificat institutionnel d'investissement

CONTRAT OPÉRATIONNEL PROSPECTIF / AUCUNE AUTORITÉ DE CAPITAL OU DE PRODUCTION ACCORDÉE

Une institution utile doit fournir un certificat décisionnel compact, pas une courbe persuasive détachée de ses obligations. Le dossier suivant est un contrat de conception à implémenter ultérieurement. Il ne certifie pas une nouvelle indépendance de la simulation actuelle.

TABLE 7. Certificat décisionnel pour la prochaine mission de capacité. Le cas présent n'établit que le calcul local.

Champ	Liaison ou décision requise
Mission	Résultat, unités, population, horizon et responsable identifiable.
Composition	Adaptateur d'entrée, contrat de variables, modèle exact, solveur, garde, coûts et dépendances.
Solutions	Option sans achat et meilleur comparateur réalisable à information égale; menu partagé.
Marge économique	Coûts complets, marge pratique prédéclarée et contrôle des pertes justifié séparément.
Approvisionnement	Capacité identifiée, prix, délai, qualification, cadence et recours en cas d'échec.
Liquidité	Financement, paiements datés, réserves et financement approuvé; une VAN n'est pas une recette.
Garde des preuves	Candidat gelé, défi sous garde indépendante et origine authentifiée; la signature ne suffit pas.
Autorité	Effet permis, durée, contre-signature, conditions d'arrêt, retour arrière et révocation.

Un prédicat d'admission proposé conjoint validité des preuves, marge comparative, livrabilité physique, liquidité et autorisation. Toute condition échouée ou inconnue laisse l'autorité conséquente non attribuée. Un successeur entraîné avec succès repasse ce prédicat; il n'hérite pas de la décision précédente. La même règle vaut si l'adaptateur, le prix, le menu ou le code de déploiement changent, même sans changement des poids neuronaux.

Le nouveau laboratoire décisionnel hors ligne rend cette *comptabilité conditionnelle* inspectable. Il modifie les hypothèses de conservation, de coût et de livraison, recalcule les équations et exporte les hypothèses sélectionnées. Il n'ajuste aucun modèle, n'optimise aucun nouveau plan, ne valide aucun fournisseur et n'accorde aucune autorité. C'est un instrument de recherche pour examiner le dossier de capital, non un remplacement des preuves externes manquantes.

20 L'institution productive capable de se renforcer

SYNTHÈSE PROSPECTIVE / AUCUNE PRÉVISION FINANCIÈRE EXTRAPOLÉE

La contribution de long terme est une boucle reproductible de recherche et de capital. HELIOS étudie l'exploitation d'actifs énergétiques et de calcul. FORGE étudie la livraison d'une expansion engagée. Une mission suivante peut examiner la contrainte d'usine, de réseau, de matériaux ou de mise en service révélée par le plan actuel. Chaque amélioration validée peut laisser à la fois des actifs productifs et une méthode inspectable pour remplacer le spécialiste qui l'a trouvée.



FIGURE 14. Portefeuille de missions qualifiées, et non croissance automatique pilotée par un modèle. La boucle inférieure est prospective; aucun flux réel, aucune qualification externe ni aucun programme spatial n'est exécuté ici.

L'institution n'a donc pas à conserver indéfiniment un seul prédicteur. Elle retient contrats de mission, hypothèses rejetées, outils qualifiés, provenance, conditions d'échec et permissions, tout en sélectionnant la capacité la mieux étayée pour la tâche contrainte suivante. Voilà l'actif durable proposé. Son rendement causal supplémentaire, face à une institution Bêta bien gouvernée, n'est pas mesuré dans cette expérience.

20.1 Trésorerie, connaissances et actifs installés sont distincts

Un état comptable futur possible est $(B_t, K_t, \mathcal{E}_t)$: liquidités disponibles, actifs productifs installés et preuves conservées. Soient R_t les encaissements réels, O_t les dépenses opérationnelles, L_t les autres sorties obligatoires, D_t les distributions, H_t la recherche, I_t l'investissement payé et F_t le financement externe enregistré séparément. Alors

$$B_{t+1} = B_t + R_t - O_t - L_t - D_t - H_t - I_t + F_t, \quad B_{t+1} \geq B_{\min, t+1}. \quad (19)$$

Une VAN actualisée ne figure pas comme encaissement dans cette équation. Ni une réserve libérée ni un score de modèle ne créent une seconde recette. Le capital externe doit être explicite plutôt qu'attribué à l'Alpha opérationnel.

Pour une classe d'actif k , la livraison intervient seulement après son délai :

$$K_{k, t+1} = (1 - \delta_k) K_{k, t} + Y_{k, t - \tau_k}, \quad 0 \leq Y_{k, t} \leq \min\{\bar{Y}_{k, t}^{\text{factory}}, \bar{Y}_{k, t}^{\text{material}}, \bar{Y}_{k, t}^{\text{energy}}, \bar{Y}_{k, t}^{\text{commissioning}}\}. \quad (20)$$

Chaque borne doit utiliser des unités de production compatibles et ses propres preuves. L'équation (20) est une discipline prospective, non une loi de croissance ajustée. Elle empêche d'assimiler capital disponible et capacité de construction illimitée.

La recherche modifie ce qui peut être connu et tenté; elle n'autorise pas à elle seule les effets. Une expérience future devrait mesurer si les preuves conservées raccourcissent la requalification,

évitent un mauvais achat ou améliorent la production utile. Ces résultats devraient être comparés aux mêmes modèles compétents sans les ajouts institutionnels proposés. La valeur économique de la gouvernance doit être démontrée dans cette comparaison, et non supposée.

21 Quand l'avantage productif peut financer l'expansion

ÉDITION FINALE D'AUTEUR / PONT ANALYTIQUE CONDITIONNEL / AUCUNE PRÉVISION DE CROISSANCE

La proposition à long terme n'est pas qu'une VAN élevée peut être multipliée indéfiniment. Une intelligence conservée peut améliorer une marge d'exploitation réelle; cette marge réalisée peut financer un actif livré; cet actif peut élargir la prochaine possibilité de recherche. La chaîne échoue dès qu'une de ces transitions reste une simple hypothèse. Les équations (19)–(20) demeurent donc les comptes directeurs.

21.1 Une condition minimale de reproduction productive

Pour exposer le mécanisme sans prétendre l'estimer, considérons une classe homogène d'actifs. Soient K_t la capacité installée en fin de période t , $s > 0$ le flux net réalisé par unité de capacité et par période après les sorties obligatoires d'exploitation et de recherche, $c > 0$ le coût d'acquisition entièrement payé par unité livrée, $0 < \rho \leq 1$ la part réinvestie et $0 \leq \delta < 1$ la fraction de capacité perdue par période. L'indice entier $\tau \geq 0$ représente le délai : une commande financée durant $t - \tau$ est mise en service en fin de période $t + 1$. FORGE n'estime aucun de ces paramètres.

Avec rendements constants, sans emprunt, sans sorties fixes distinctes, avec livraison complète et sans plafond physique actif, la récurrence idéalisée est

$$K_{t+1} = (1 - \delta)K_t + gK_{t-\tau}, \quad g = \frac{\rho s}{c}. \quad (21)$$

L'investissement payé est $\rho s K_{t-\tau}$, non la valeur actualisée d'une prévision. Comparer deux institutions exige la même base d'actifs héritée. Meilleures prévisions, acquisitions moins coûteuses ou livraisons accélérées ne peuvent modifier les paramètres qu'après mesure et imputation de leurs coûts.

Proposition 5 (L'expansion exige plus qu'un avantage comptable positif). *Pour $g > 0$ et $0 \leq \delta < 1$, le facteur caractéristique positif dominant de (21) est l'unique $\lambda > 1 - \delta$ tel que*

$$\lambda^\tau (\lambda - (1 - \delta)) = g. \quad (22)$$

Il dépasse un si et seulement si $g > \delta$. Lorsque $g > \delta$, un délai accru réduit λ , et $1 < \lambda \leq 1 - \delta + g$.

Démonstration. Sur $\lambda > 1 - \delta$, le membre gauche de (22) est continu, strictement croissant, part de zéro et diverge. Il vaut δ en un, d'où le seuil. Pour toute racine caractéristique complexe z , l'inégalité triangulaire donne $|z|^{\tau+1} \leq (1 - \delta)|z|^\tau + g$; la monotonie entraîne $|z| \leq \lambda$. Au-dessus de un, augmenter τ accroît le membre gauche à λ fixé; la nouvelle racine diminue. Enfin, $\lambda = 1 - \delta + g/\lambda^\tau \leq 1 - \delta + g$. $\square$

Cette récurrence conditionnelle élémentaire n'est ni une nouvelle loi empirique ni une formule de valorisation. Une politique peut battre sa référence sans satisfaire $\rho s/c > \delta$ une fois admis ses encaissements réels, ses besoins de remplacement et ses coûts d'acquisition. Inversement, les deux institutions peuvent croître alors que l'apport différentiel du spécialiste reste faible. L'Alpha relatif et la reproduction productive absolue répondent à deux questions distinctes.

21.2 Les goulets physiques bornent l'accumulation

Si la production livrée par période est bornée par $\bar{Y}$, alors

$$K_{t+1} \leq (1 - \delta)K_t + \bar{Y} \implies K_t \leq (1 - \delta)^t K_0 + \frac{\bar{Y}}{\delta} [1 - (1 - \delta)^t], \quad \delta > 0. \quad (23)$$

La substitution répétée prouve la borne géométrique. Pour $\delta = 0$, la borne devient $K_t \leq K_0 + t\bar{Y}$. Un avantage financier ne supprime pas un plafond de production fixe. La prochaine mission utile doit améliorer une capacité physique limitante, réduire les pertes, raccourcir un délai mesuré ou modifier l'objectif économique. Le menu de la section 16 illustre, à petite échelle synthétique exécutée, l'achat d'un élargissement de contrainte.

Avec plusieurs ressources rares, un compte compatible s'écrit $AY_t \leq b_t$: chaque ligne de A convertit les sorties livrées en besoins définis de matière, d'énergie, de fabrication ou de mise en service. L'encaisse disponible ne rend pas cette inégalité réalisable à elle seule. Un achat de capacité entier ne possède pas nécessairement un prix marginal lisse : il faut chiffrer une modification finie d'un plan complet et réalisable, puis offrir la même option à une référence sérieuse.

21.3 Une séquence de missions, non une victoire extrapolée

TABLE 8. Séquence de recherche proposée. Seuls les calculs HELIOS/FORGE circonscrits décrits dans les artefacts conservés ont été exécutés. Chaque étape supplémentaire exige de nouvelles preuves.

Mission	Sortie utile à mesurer	Preuves avant capital ou autorité
Exploitation	Travail utile accompli par coût total	Règlements réels, qualité de service et référence appariée
Fabrication	Unités qualifiées livrées par intrant contraint	Rendement, cadence, durée de vie et achats disponibles
Construction	Capacité mise en service par programme payé	Ingénierie complète, trésorerie datée, permis et réception
Systèmes de recherche	Découvertes reproduites ou conceptions validées	Réplication indépendante et utilité en aval, non volume de sorties
Industrie distante	Ressources et assemblages utilisables à destination	Extraction, transport, assemblage, thermique et fiabilité
Énergie à grande échelle	Puissance utile dans un budget de source fini	Géométrie, conversion, masse, chaleur et exploitation durable

La fonction stratégique de l'institution est de transmettre la méthode à travers ces transitions : contrats de mission exacts, outils efficaces, échecs, coûts de comparaison, garde des preuves et permissions révocables. Un spécialiste n'a pas besoin d'être universellement supérieur ; il doit gagner un avantage circonscrit au goulet actif. L'ambition est une organisation de recherche productive durable dont la prochaine mission est choisie par les preuves, non l'affirmation qu'un seul prévisionniste de quatre étapes accomplit déjà toutes les tâches.

22 Un horizon ambitieux assorti d'un compte physique

DIMENSIONS CONDITIONNELLES DE RESSOURCES / AUCUN DÉPLOIEMENT OU CALENDRIER CONÇU

L'énergie, la fabrication et le calcul à grande échelle peuvent être reliés par une succession de missions de recherche, non par une courbe d'intérêts composés sans contraintes. La NASA traite l'entretien, l'assemblage et la fabrication dans l'espace comme des capacités susceptibles de changer la maintenance et la construction des systèmes spatiaux [16]. Ce contexte motive une classe de capacités future ; il ne valide pas FORGE hors de sa tâche de construction synthétique.



FIGURE 15. Image conceptuelle générée pour cette édition. Cette infrastructure imaginée oriente la recherche future; elle ne représente ni une installation simulée, ni une conception d'ingénierie, ni un résultat numérique ou une prévision.

Pour un collecteur solaire électrique idéalisé, soient P_e la puissance électrique utile, η le rendement, I l'irradiance et f la fraction interceptée du rayonnement stellaire. Les identités de ressources nécessaires sont

$$A_{\text{collect}} = \frac{P_e}{\eta I}, \quad A_{\text{rad}} = \frac{P_{\text{heat}}}{\epsilon \sigma (T^4 - T_{\text{bg}}^4)}, \quad P_e \leq \eta f L_{\star}, \quad 0 \leq f \leq 1. \quad (24)$$

On utilise $I = 1361 \text{ W m}^{-2}$ et la luminosité nominale $L_{\star} = 3,828 \times 10^{26} \text{ W}$ comme références solaires normalisées [17]. Ce sont des conversions de référence, non la preuve qu'un collecteur peut être fabriqué. La valeur $\sigma \simeq 5,670374419 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ provient du NIST [18]. Le scénario suppose aussi $\eta = 0,30$, $\epsilon = 0,9$, $T = 340 \text{ K}$, $T_{\text{bg}} = 3 \text{ K}$ et $P_{\text{heat}} = P_e$.

TABLE 9. Compte physique conditionnel. La collecte est une surface projetée normale à l'irradiance de référence ; le radiateur est une surface émettrice effective. Aucun coût, calendrier ou constat de faisabilité n'en découle.

P_e (W)	A_{collect} (km ²)	A_{rad} (km ²)	f_{min}
10^{12}	$2,449 \times 10^3$	$1,466 \times 10^3$	$8,708 \times 10^{-15}$
10^{18}	$2,449 \times 10^9$	$1,466 \times 10^9$	$8,708 \times 10^{-9}$
10^{24}	$2,449 \times 10^{15}$	$1,466 \times 10^{15}$	$8,708 \times 10^{-3}$
10^{26}	$2,449 \times 10^{17}$	$1,466 \times 10^{17}$	$8,708 \times 10^{-1}$

À un térawatt, les surfaces idéales de collecte et de rayonnement valent environ 2 449 et 1 466 kilomètres carrés. À 10^{26} W électriques utiles, la fraction interceptée nécessaire atteint environ 87,1% avec le rendement supposé de 30%. On approche une contrainte finie de source énergétique ; ce n'est pas une installation terrestre extrapolable. Empaquetage, ombrage, dynamique orbitale, masse, chaleur perdue à la conversion, rayonnement, communications, entretien et auto-échauffement ne sont pas modélisés. Le compte radiatif ne couvre que la dissipation électrique stipulée, et non toutes les pertes des collecteurs. La figure 16 fait varier la température comme hypothèse distincte ; la tenue des matériaux et le calcul utile à ces températures ne sont pas établis.

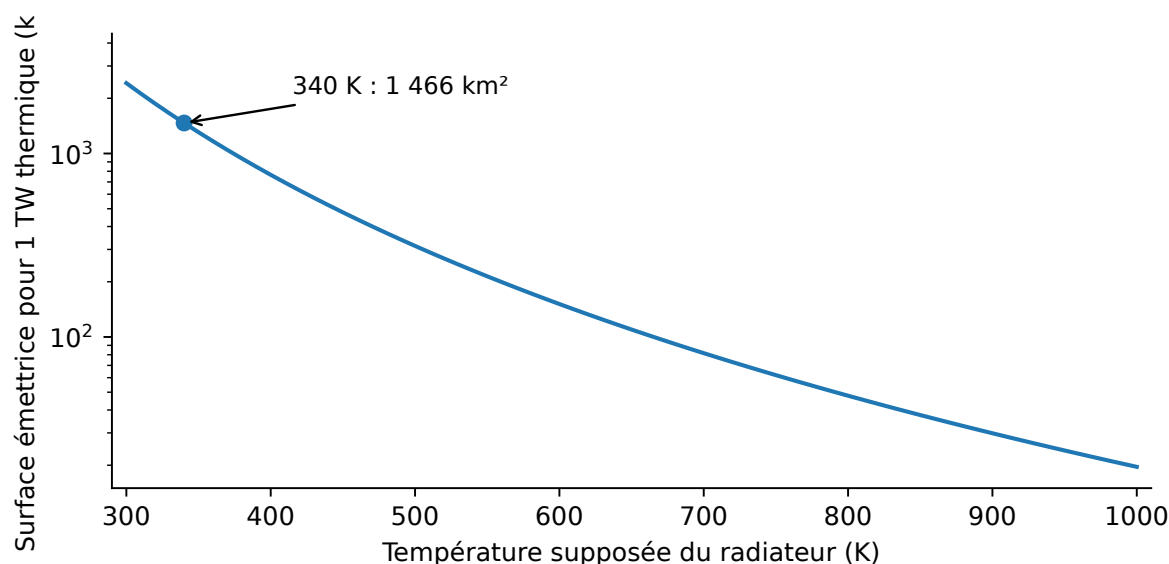


FIGURE 16. Surface radiative idéale pour un térawatt thermique fixe selon la température supposée. L'axe logarithmique révèle un compromis thermique, non une température techniquement atteignable ni une technologie démontrée.

Une institution utile à long terme commanderait et requalifierait des spécialistes de l'extraction, des matériaux, de la fabrication, de l'assemblage, du contrôle thermique et de la fiabilité. Elle les financerait à partir de capital enregistré et de résultats opérationnels mesurés, avec des frontières d'autorité explicites. Cet article n'exécute aucun de ces programmes physiques futurs. Il fournit un exemple borné et inspectable de leur discipline décisionnelle nécessaire : **faire de chaque expansion proposée une mission chiffrée, testable et remplaçable.**

23 Conclusion

FORGE montre comment un propriétaire peut conserver une institution pour convertir du capital en capacité productive modélisée. Un spécialiste appris de quatre stades et un planificateur entier produisent un Alpha positif pour la composition gelée, alors que la prétention générale G2 demeure incertaine. Le meilleur résultat économique n'est pas le calendrier le plus rapide. Coûts explicites, cas perdants, contrats d'options et autorité séparée rendent cette distinction inspectable.

Le menu partagé précise la leçon : acheter de la capacité peut apporter un gain important aux deux concurrents tout en réduisant l'Alpha propre du spécialiste. L'institution conserve ce résultat et les conditions de la prochaine décision. Son horizon relie améliorations mesurées, capacité payée et compétences physiques qualifiées. Le cas présent constitue un début exécutable et une méthode pour poursuivre la recherche, non une richesse réalisée, un horizon industriel accompli ou une autorisation héritée.

A Générateur exact des réponses et des flux

Le fichier original `lab.py` est la spécification exécutable. Les formules suivantes rendent le contrat d'information inspectable sans exécution. On note $x = (e, s, v, c, k, q, l, i, d, w)$ les signaux dans l'ordre de la section 4. Les indicateurs $f = \mathbf{1}\{m \geq 2\}$ et $t = \mathbf{1}\{m \in \{1, 3\}\}$ désignent respectivement l'usine et les équipes renforcées. Ici, t est un indicateur, non le mois de démarrage utilisé ailleurs.

Les dix variables suivent initialement des tirages indépendants $U(.05, .95)$. La préparation est remplacée par $U(.4, .98)$ et l'expérience des équipes par $U(.2, .98)$. En G2, la pression d'approvisionnement est remplacée par $U(.3, .99)$ et la complexité des interfaces par $U(.35, .99)$. Les moyennes G1, avant bornage, sont

$$\begin{aligned} \mu_P = & 8 + 17s + 8l + 15sl + 8(s - .65)_+^2 \\ & + f\{6 - 21v - 17vs + 8(1 - v)s\}, \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} \mu_C = & 7 + 13c + 8w + 10cw + 8(1 - e)i \\ & + t(2 - 9k - 5kq) + f(3 - 10v), \end{aligned} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} \mu_I = & 4 + 8i + 7(1 - q) + 10i(1 - q) \\ & + f(3 - 10vq) + t(2 - 9kq) - 3ftvq, \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} \mu_R = & 5 + 16i(1 - q) + 10(1 - e)i + 4wc \\ & + f(4 - 15vq) + t(2 - 7kq). \end{aligned} \quad (28)$$

G2 ajoute $7(s + i - 1.2)_+ + f\{4s(1 - v) - 5vq\}$ à l'approvisionnement, $5i(1 - q) - 2ftkq$ à l'intégration et $5(1 - e)i + 3s(1 - v) - 3ftvq$ aux reprises. La fonction moyenne civile reste inchangée, même si sa distribution d'entrée change par i .

Dans l'historique, un seul mode est assigné uniformément. Chaque bloc de vingt projets partage un choc gaussien dont les écarts-types sont $(1, 1, .6, 1)$. Les chocs propres aux projets ont pour écarts-types $(1.3, 1.3, .8, 1.8)$. Un programme d'évaluation partage plutôt un choc d'écarts-types $(1.6, 1.6, 1, 1.6)$; les chocs des sites utilisent $(1.3, 1.3, .8, 1.8)$ et sont répétés pour les quatre modes. Les résultats potentiels sont bornés composante par composante :

$$(P, C, I, R) \in [2, 70] \times [2, 70] \times [1, 35] \times [0, 60].$$

Partager le choc contrefactuel est une hypothèse de couplage du simulateur, non une propriété causale mesurée des traitements de construction.

Le capital de base, en millions de dollars canadiens, est $B_i = 320 + 60c_i + 20i_i$. Le flux annuel net d'exploitation, dans les mêmes unités, vaut

$$A_i = 10^{-6} [500(1 + .20d_i) 600 365 - 64407.32036237102 365 - 12 \times 10^6 - .08(350 \times 10^6)]. \quad (29)$$

Il s'agit de la contribution contractuelle supposée moins les allocations communes d'énergie, personnel et renouvellement. Ni vente terminale, dette, impôt, érosion de la demande ni changement technique futur ne sont modélisés. Construction et reprises sont soustraites à leur valeur nominale non actualisée, même lorsque le chantier débute plus tard : ce n'est pas un échancier détaillé des décaissements. La réserve est une contrainte de trésorerie, non une deuxième charge dans la VAN.

A.1 Graines et rôles des observations

Pour l'essai indexé à partir de zéro $j \in \{0, \dots, 7\}$ et le régime $g \in \{1, 2\}$, on pose $s_{jg} = 900000 + 10000j + 1000g$. L'historique utilise s_{jg} ; les trois programmes de développement utilisent $s_{jg} + 100, \dots, +102$; les huit défis principaux utilisent $s_{jg} + 200, \dots, +207$. Les graines finales sont $1800000, \dots, 1800063$. Le bootstrap final apparié utilise 1980000 et 4 000 tirages. Les empreintes des données et modèles sélectionnés accompagnent la capsule. [F01–F04]

B Représentation et spécification complète des ajustements

La représentation générique comprend les dix signaux et f, t, ft , soit treize dimensions. Le développement polynomial de degré deux sans biais ajouté donne 104 colonnes. La représentation structurée conserve les 39 colonnes suivantes, même lorsqu'une variable n'a pas de contrepartie exacte dans la moyenne du simulateur :

$$\begin{aligned}\phi_P &= [s, l, sl, (s - .65)_+^2, f, fv, fvs, f(1-v)s, (s + i - 1.2)_+, fvsq, f(1-v)l], \\ \phi_C &= [c, w, cw, (1-e)i, t, tk, tkq, f, fv, fvsq], \\ \phi_I &= [i, 1-q, i(1-q), f, fvsq, t, tkq, ftsq, ftkq], \\ \phi_R &= [i(1-q), (1-e)i, wc, f, fvsq, t, tkq, s(1-v), ftsq].\end{aligned}$$

Les moyennes et échelles d'entraînement normalisent toutes les colonnes. Chaque sortie n'utilise que son bloc : 11, 10, 9 et 9 pentes, plus quatre constantes, soit 43 coefficients libres. Le JSON conserve une matrice dense 4×39 avec des zéros masqués explicites; 156 entrées stockées n'impliquent pas 156 pentes librement ajustées.

TABLE 10. Grille complète par régime et essai. Aucun candidat n'est réajusté sur les résultats de développement.

Famille	Spécification d'ajustement
Ridge brut	13 variables standardisées; régularisation 1 ou 100
Ridge polynomial	Degré 2; 104 variables; standardisation; régularisation 10
Arbres extrêmement aléatoires	80 arbres; feuille minimale 3; toutes les variables; graine 71; un processus
Boosting par histogrammes	Quatre sorties; 100 itérations; 15 feuilles; L2 de 3; feuille minimale 16; aucun arrêt anticipé; graine 72
Ridge structuré borné	Quatre masques; régularisation .1, 1, 10, 100; erreur quadratique des sorties bornées et pénalité des pentes

L'ajustement structuré est initialisé par ridge, puis emploie L-BFGS-B avec au plus 500 itérations, une tolérance d'objectif de 10^{-11} et de gradient de 10^{-6} . Le bornage crée des zones plates et exclut toute prétention générale de convexité ou d'optimum global d'apprentissage. La classe source s'appelle `CensoredStageRegressor`; elle n'ajuste pas une vraisemblance censurée et n'est pas un estimateur Tobit. Tous les stades sélectionnés terminent avec succès dans le nouvel ajustement de publication; cela n'est pas un certificat d'optimum global.

Les modèles génériques emploient les estimateurs scikit-learn [8]. Prévisionniste structuré et exportateur générique sont des ajouts du client. La sélection résout trois allocations par candidat puis moyenne la VAN synthétique observée au sein de chaque famille. Seize tours et neuf candidats donnent 144 ajustements et 432 résolutions de développement. Trois programmes seulement participent à chaque sélection : le défi final plus vaste n'élimine pas cette incertitude [9].

C Tous les résultats des cohortes appariées

Le registre intégral des réajustements suit. Alpha et regret face à l'information parfaite sont les différences moyennes de VAN, en millions de dollars canadiens, sur huit programmes de défi. La numérotation des essais commence à un; les répertoires sources T00–T07 commencent à zéro. La régularisation sélectionnée du spécialiste est λ .

TABLE 11. Les seize cohortes ajustées. Les comparaisons négatives restent visibles.

Essai / régime	Bêta sélectionné	λ	Alpha	Regret
1 / G1	histgb	0.1	3,724	6,865
1 / G2	poly_ridge10	0.1	1,653	4,227
2 / G1	histgb	100	2,498	8,701
2 / G2	poly_ridge10	10	5,828	9,326
3 / G1	histgb	0.1	1,726	16,001
3 / G2	histgb	0.1	11,531	2,093
4 / G1	poly_ridge10	0.1	5,895	6,599
4 / G2	poly_ridge10	0.1	1,769	1,730
5 / G1	poly_ridge10	100	5,168	10,948
5 / G2	histgb	100	2,498	6,799
6 / G1	histgb	0.1	3,315	8,206
6 / G2	histgb	0.1	1,245	1,169
7 / G1	histgb	0.1	13,054	12,978
7 / G2	poly_ridge10	0.1	0,679	1,099
8 / G1	poly_ridge10	100	-1,631	11,324
8 / G2	poly_ridge10	0.1	-2,847	9,415

G1 atteint une moyenne de 4,22 M\$ CA, avec un intervalle t entre huit réajustements de 0,67 M\$ CA à 7,77 M\$ CA. G2 atteint 2,79 M\$ CA, avec intervalle de -0,76 M\$ CA à 6,35 M\$ CA. Chaque régime gagne sept essais sur huit. Ces intervalles décrivent les échantillons du simulateur déclaré; ce ne sont ni des intervalles prédictifs d'un programme réel ni des garanties simultanées sur toute la recherche.

D Registre complet du défi final gelé

La composition finale utilise la première cohorte G2 prédésignée. Chaque ligne est un programme alternatif de 24 projets, non un revenu réalisé supplémentaire. Alpha est FORGE moins la meilleure des politiques Bêta sélectionnée et classique. Le regret est la valeur en information parfaite moins FORGE, à frais de politique identiques. Les deux sont en millions de dollars canadiens.

TABLE 12. Les 64 programmes finaux ; 44 produisent un Alpha compétitif positif.

ID	Alpha	Regret	ID	Alpha	Regret
00	11,303	0,000	32	15,710	6,983
01	35,134	1,762	33	15,717	0,000
02	6,025	0,531	34	-2,000	29,911
03	19,302	0,094	35	13,653	4,094
04	-0,807	10,997	36	0,333	0,161
05	15,428	0,000	37	4,623	0,000
06	-2,000	0,000	38	5,240	2,818
07	-7,610	6,507	39	6,007	12,642
08	15,234	6,331	40	-10,023	8,131
09	1,861	0,101	41	-3,864	2,506
10	-2,000	0,879	42	6,190	0,000
11	6,796	9,619	43	0,368	0,000
12	0,111	24,266	44	4,454	0,000
13	16,396	0,064	45	27,715	0,000
14	-0,620	3,251	46	1,837	0,168
15	1,620	16,359	47	8,970	0,009
16	-0,037	0,000	48	6,635	2,224
17	-0,879	0,891	49	15,181	5,499
18	-6,816	17,330	50	1,060	0,000
19	10,962	0,677	51	9,886	0,000
20	-0,487	3,575	52	10,468	5,163
21	16,985	0,130	53	-2,372	0,372
22	3,498	1,247	54	2,984	15,298
23	-2,094	10,131	55	-2,000	2,561
24	2,227	0,000	56	4,172	15,415
25	10,312	0,114	57	-2,843	40,074
26	12,366	0,390	58	-1,871	0,404
27	19,486	1,192	59	-1,020	9,602
28	-0,612	7,351	60	11,530	8,454
29	6,538	0,000	61	8,646	11,995
30	4,831	0,257	62	17,081	0,000
31	-6,318	11,305	63	7,176	3,971

L'appariement conserve toute la dépendance interne au programme pendant le bootstrap. L'intervalle conditionnel fixe modèles, décisions de sélection, générateur et hypothèses de trésorerie. Il ne réajuste pas les modèles et ne transforme pas une preuve contrôlée par l'auteur en garde indépendante.

E Témoin complet du premier programme

Le premier programme final est conservé par protocole. Le tableau 13 donne ses choix FORGE et résultats synthétiques. La fin vaut $\tau + \max(P, C) + I$; « Coût » comprend capital de base, frais du mode et reprises effectives, hors coût commun d'usine et frais de politique. Dates en mois; montants en millions de dollars canadiens.

TABLE 13. Premier programme : 24 choix conservés. Les modes suivent le tableau 2.

Site	Bêta : m / t	FORGE : m / t	Fin	Coût	VA
1	2 / 12	0 / 6	59,46	406,45	509,04
2	0 / 6	0 / 6	59,38	391,60	523,51
3	0 / 6	3 / 24	70,94	429,17	428,90
4	0 / 12	0 / 12	63,23	371,30	410,33
5	0 / 0	0 / 0	33,03	375,98	605,33
6	0 / 12	0 / 18	64,62	373,75	391,62
7	0 / 0	0 / 0	48,44	398,69	598,22
8	3 / 18	3 / 18	39,01	377,99	571,88
9	2 / 12	2 / 12	43,50	383,34	577,46
10	1 / 18	0 / 12	50,95	381,94	440,81
11	0 / 24	0 / 24	90,18	397,05	321,73
12	0 / 6	0 / 6	63,89	407,77	514,51
13	3 / 24	3 / 24	44,44	377,01	465,22
14	2 / 12	2 / 12	39,01	382,65	623,69
15	0 / 0	0 / 0	42,00	355,16	602,57
16	3 / 18	3 / 18	35,36	403,16	629,09
17	2 / 18	2 / 12	48,35	404,68	508,96
18	3 / 24	3 / 24	56,39	413,68	454,42
19	0 / 6	0 / 6	49,83	360,95	531,96
20	3 / 24	3 / 18	42,57	380,79	496,84
21	3 / 24	3 / 24	45,46	401,94	464,03
22	2 / 12	2 / 12	56,78	392,90	519,58
23	0 / 0	0 / 0	33,45	380,00	621,33
24	3 / 18	3 / 18	51,98	394,50	494,74

Le programme achète une cellule. Son enveloppe réserve capital de base, frais de mode, 60 millions de reprises par site et cellule de 105 millions; les dix millions de frais de politique sont hors de cette contrainte de construction. Libérer une réserve inutilisée n'est pas un revenu. Le registre recalculé distingue investissement, réserve et flux actualisés. [F05, F10]

F Revalorisation à plans fixes et regret décisionnel

Cette publication ajoute une grille secondaire, non une nouvelle compétition. Les plans finaux sélectionnés restent gelés. L'actualisation devient $r \in \{0, .03, .05, .08, .12\}$ et le flux net d'exploitation est multiplié par $q \in \{.8, 1, 1.2\}$. À taux nul, on utilise la limite $PV = A(20 - d/12)$. Coûts de construction, modes, cellules et frais de politique restent inchangés.

TABLE 14. Sensibilité secondaire à plans fixes. VAN moyenne et Alpha en millions de dollars canadiens.

Taux	Multiplicateur flux	Alpha moyen	VAN FORGE	Gains
0%	0,8	5,754	7 612,54	44/64
0%	1,0	4,539	11 881,49	41/64
0%	1,2	3,323	16 150,43	40/64
3%	0,8	6,350	2 576,50	45/64
3%	1,0	5,283	5 586,43	40/64
3%	1,2	4,216	8 596,36	38/64
5%	0,8	6,696	222,73	46/64
5%	1,0	5,715	2 644,22	44/64
5%	1,2	4,735	5 065,71	39/64
8%	0,8	7,151	-2 322,95	47/64
8%	1,0	6,284	-537,89	46/64
8%	1,2	5,417	1 247,18	44/64
12%	0,8	7,657	-4 533,21	45/64
12%	1,0	6,917	-3 300,71	44/64
12%	1,2	6,177	-2 068,21	43/64

À 8% et $q = 1$, la VAN moyenne FORGE est d'environ -537,89 M\$ CA, mais son avantage relatif sur Bêta reste d'environ 6,28 M\$ CA. Être meilleur qu'une autre politique de réalisation n'établit pas qu'il fallait approuver l'investissement engagé. Le modèle ne peut annuler des projets; une décision séparée de construire ou renoncer serait nécessaire.

Le calcul de regret de la section 7 est lui aussi rétrospectif. Il évalue les deux politiques finales sur 64 programmes, soit 128 comparaisons. Tous les regrets à frais égaux satisfont la borne dérivée, mais la borne moyenne atteint environ 1001,72 M\$ CA; elle est volontairement conservatrice et bien supérieure au regret observé typique. C'est une enveloppe explicative, non un certificat de risque précis ni une borne de confiance prospective. Aucune nouvelle étiquette, sélection, preuve indépendante ou donnée d'entraînement n'a été introduite.

G Reproduction et acceptation de publication

G.1 Source préservée et environnement exécuté

La simulation originale inchangée est incluse dans la livraison complète de recherche. L'environnement numérique est Linux x64, Python 3.13.5, NumPy 2.3.5, SciPy 1.17.0 et scikit-learn 1.8.0; la lecture native utilise Node.js 22.16.0. Le prévisionniste dispose de paramètres JSON et d'une inférence Node; le planificateur entier requiert les dépendances Python. Leur installation peut nécessiter le réseau. La commande locale n'utilise ni API de modèle, portefeuille, GPU ni connecteur d'action externe.

Depuis la racine FORGE_OMEGA fraîchement extraite :

```
python 05_REPRODUCE/verify_bundle.py
python -m venv ../forge-env
# Activer cet environnement selon le systeme utilise.
python -m pip install -r 05_REPRODUCE/requirements.txt
python 05_REPRODUCE/operate.py \
  --model 02_MISSIONS/FORGE_MODEL.json \
  --input 02_MISSIONS/EXAMPLE_INPUTS.json \
  --out ../forge-proposal
```

Choisir un nouveau dossier hors de la capsule. Le programme complet 05_REPRODUCE/run_study.py inclut sélection en développement et défis ; il peut être beaucoup plus long que l'utilisation d'un modèle conservé.

G.2 Ce qui a été exécuté à nouveau pour l'article

Un nouvel ajustement sur les cohortes historiques admises a reproduit exactement les 32 exportations sélectionnées. Une réoptimisation finale distincte a reproduit 320 plans et leurs 320 résultats intégraux, sans écart de VAN. Ces répétitions fixent les identités déjà sélectionnées en développement ; elles ne répètent pas tout le tournoi de sélection et ne constituent pas une réplication indépendante.

Le code distinct de rapprochement recalcule contraintes et équations de trésorerie des 896 plans de défi conservés. Il reconstruit agrégats et intervalle final apparié, les deux intervalles entre réajustements, 128 enveloppes de regret et la grille de quinze revalorisations. Il vérifie 2 096 assertions explicites. Les bornes enregistrées de l'optimisation entière sont contrôlées pour cohérence, non reconstruites comme certificats indépendants. Identités et résultats sont dans 04_DATA/paper_analysis.json et le dossier d'assurance.

La capsule initiale consigne 36 contrôles de réfutation de mission, 324 contrôles numériques, 18 contrôles natifs et 33 autotests du produit. Ces comptes restent des preuves initiales, non des tests nouveaux de publication. Répétitions, stress et capacités secondaires sont exclus des 1 328 résolutions originales. Les contrôles de publication ne sont pas de nouvelles observations économiques.

G.3 Reconstruire le manuscrit

L'édition source comprend tableaux, figures vectorielles, bibliographie et texte intégral bilingue. Aucune police n'est distribuée ; l'installation TeX les fournit.

```
cd 02_LATEX
python build.py
```

La compilation utilise pdfLaTeX et Biber et produit les éditions intégrales anglaises et françaises A4 et Letter. Les éditions de lecture HTML/MathML complètent les PDF ; aucune certification PDF/UA ou de technologie d'assistance n'est revendiquée. Le registre d'acceptation décrit les contrôles réellement exécutés de compilation, références, mise en page et archives. Compiler avec succès n'est pas une évaluation scientifique par les pairs.

H Index des preuves et identité exacte

Les identifiants courts évitent de surcharger le récit avec des chemins techniques. Sauf mention « Publication », les chemins sont relatifs à la simulation extraite. Les empreintes identifient des fichiers précis ; elles ne prouvent ni date de confiance, ni titre légal, ni vérité.

ID	Preuve et portée
F01	Protocole principal, chronologie et configuration : 03_DATA/STUDY/PROTOCOL.json
F02	Pilotes de développement et changements de conception : 04_EVIDENCE/DEVELOPMENT_DISCLOSURE.json
F03	Cohortes historiques, développement et défis principaux : 03_DATA/STUDY/T00_G1 à 03_DATA/STUDY/T07_G2; sélections gelées et modèles de chaque cohorte.
F04	Protocole supplémentaire fixe et résultat : 03_DATA/STUDY/FINAL/PROTOCOL.json 03_DATA/STUDY/FINAL/SUMMARY.json
F05	Générateur, prévisions, planification, vérification et comptes : 05_REPRODUCE/lab.py; 05_REPRODUCE/run_study.py
F06	Spécialiste portable, comparateur et proposition locale : 02_MISSIONS/FORGE_MODEL.json; 02_MISSIONS/BETA_MODEL.json 05_REPRODUCE/operate.py
F07	Filiation native et ancêtre distinctement conservé : 02_MISSIONS/G1/mission.successor.json 02_MISSIONS/G2/mission.successor.json 09_PRIOR/HELIOS_G2.successor.json
F08	Décision de recherche bornée et contrôles initiaux : 02_MISSIONS/LOCAL_DECISION.json 04_EVIDENCE/VALIDATION.json; 04_EVIDENCE/NATIVE_ACCEPTANCE.json
F09	Options originales de capacité payante, après analyse : 07_ECONOMICS/CAPACITY_FRONTIER.json
F10	Publication : rapprochement des contraintes et flux, analyses secondaires : 04_DATA/paper_analysis.json; tools/analyze.py
F11	Publication : nouveaux ajustements sélectionnés et réoptimisation finale : 05_ASSURANCE/SELECTED_REFIT.json 05_ASSURANCE/FINAL_REPLAY.json
F12	Publication : acceptation des éditions et de la distribution : 05_ASSURANCE/PUBLICATION_ACCEPTANCE.json

Le modèle structuré gelé possède l'empreinte SHA-256

```
668cb4f299bb7f2d197b7c905847d6ba4f1f98154684cf9a0a7414e1a4493c5c
```

et l'archive commerciale inchangée compte 38 176 107 octets, d'empreinte

```
8d88dfe8b28ead562c56afc478e4c6e90476667a40899bc28d0809b6bac6888b
```

Les champs d'ancêtre référencent des empreintes d'enveloppes canoniques, pas nécessairement le SHA-256 du JSON indenté. Ces identités ne sont pas interchangeables. Identités originales des octets et inventaires de publication restent distincts.

I Provenance, auteur et distribution

Vincent Boucher est l'auteur de cette monographie, à titre de président de QUEBEC.AI & MONTREAL.AI. Le manuscrit et son dossier de calcul ont été élaborés avec une assistance d'IA pour la rédaction, l'exécution du code, le rapprochement numérique et la production éditoriale. L'étude demeure associée à l'organisation du produit; elle n'est pas une évaluation indépendante du fournisseur. La qualité d'auteur n'implique aucune réplique, évaluation ou certification par une institution externe. Aucun coauteur, témoignage client, rattachement externe, DOI ou acceptation par les pairs n'est inventé.

FORGE-TR-04 est un identifiant interne. L'étude est associée au fournisseur et contrôlée par l'auteur. Asterion est fictif; aucune donnée opérationnelle de client n'est fournie. A0 interdit les effets externes financiers ou de construction dans le parcours évalué. Spécialistes réellement entraînés, réussite locale d'une composition gelée et absence de qualification générale G2 coexistent. La qualification indépendante de spécialiste ASI n'est pas établie.

La simulation originale et son logiciel commercial restent inchangés. La licence de la plateforme demeure applicable; inclure le logiciel dans une recherche ne transfère ni propriété de la plateforme ni droit illimité de redistribution. L'édition de publication seule exclut cette capsule commerciale. Aucune nouvelle licence Creative Commons ou libre n'est imposée au contenu préexistant. Aucun fichier de police n'est fourni.

I.1 Précisions interprétatives et nouvelles analyses

L'article précise plusieurs distinctions : la réserve de reprises de 60 millions n'est pas une charge doublée dans la VAN; les frais de politique sont hors de la contrainte précise de construction; tous les sites sont obligatoires; les prévisions changent l'objectif plutôt que l'ensemble réalisable; l'ajustement n'est pas une vraisemblance censurée; et le champ source dual_bound devient une borne supérieure après inversion du signe. Un nom de site du témoin est normalisé à une numérotation commençant à un sans modifier sa décision.

L'argument de regret, ses 128 contrôles rétrospectifs et les quinze revalorisations à plans fixes sont propres à cette publication. Ils conservent chaque ajustement, modèle, plan et résultat primaire original. Ils ne constituent ni préenregistrement rétroactif, nouveaux essais confirmatoires, garde indépendante ou Alpha réalisé. La portée scientifique demeure l'expérience synthétique exécutée et les conséquences analytiques explicitement déclarées de ses hypothèses.

J Protocole du menu de capacité et registre complet

Cette expérience secondaire lit les fichiers conservés FINAL/P00.npz à FINAL/P63.npz, les modèles Bêta et FORGE exportés inchangés, et le fichier initial lab.py. Son protocole consigne leurs empreintes exactes avant les nouvelles résolutions. La cohorte finale ayant déjà été analysée dans l'édition 1, cette chronologie locale n'est pas présentée comme un nouveau préenregistrement.

Menu : (4, 0), (5, 90) et (6, 180), chaque couple désignant les créneaux semestriels et le prix ponctuel en millions CA. Le prix réduit le plafond de trésorerie avant l'optimisation, puis la valeur du programme une seule fois après évaluation. Les frais de politique restent de 8 et 10 millions CA. Ajustement des modèles, oracle, réserves et capacité en kits sont inchangés. Les deux prédicteurs disposent des mêmes options.

Les 384 plans comprennent une nouvelle résolution à quatre créneaux pour chaque modèle et programme. Les 128 valeurs correspondantes reproduisent la référence conservée à 10^{-7} million CA près. Un vérificateur réécrit séparément reconstruit unicité, disponibilité, usine, mobilisation, kits, budget, dépenses de construction et valeur actualisée d'exploitation. Les objectifs prévus sont comparés aux bornes du solveur, sans prétendre reconstruire une preuve indépendante de séparation et évaluation. Le programme effectue 1 026 assertions explicites. L'essai préliminaire interrompu est distingué de l'exécution complète réussie; les sorties partielles ne sont pas utilisées.

Pour chaque programme et politique, le choix maximise la VAN prévue après tous les frais. Les résultats potentiels conservés servent ensuite à l'évaluation. Un bootstrap apparié de 4 000 tirages rééchantillonne 64 programmes entiers avec la graine 260905. Il est conditionnel aux politiques, au menu, aux coûts et à la cohorte du simulateur; aucune incertitude d'apprentissage ou d'approvisionnement n'y entre. L'intervalle principal initial reste lié à sa graine et à son protocole d'origine.

Pour exécuter dans un nouveau dossier hors de la simulation :

```
python tools/capacity_study.py /path/to/FORGE_OMEGA ../new-capacity-run
```

Le tableau complet rapporte les créneaux sélectionnés, le gain de VAN de chaque modèle sur son propre plan initial, et l'Alpha comparatif direct. Les montants sont en millions CA, non en revenus annuels. Les fichiers structurés conservent les valeurs non arrondies et les 384 plans.

TABLE 16. Registre secondaire complet. B/F désigne les créneaux Bêta/FORGE; G_B et G_F mesurent les gains sur le plan initial propre. Montants en millions CA.

ID	B/F	G_B	G_F	$\alpha_{\mathcal{U}}$	ID	B/F	G_B	G_F	$\alpha_{\mathcal{U}}$
00	6/6	192,76	183,76	2,31	32	6/6	189,93	172,47	-1,75
01	6/6	171,42	134,28	-2,00	33	6/6	114,44	103,74	5,01
02	5/5	47,06	58,60	17,56	34	6/6	119,68	101,87	-19,80
03	6/6	177,72	174,74	16,32	35	6/6	169,92	163,29	7,02
04	6/6	131,68	125,84	-6,66	36	6/6	130,55	132,29	2,07
05	6/6	154,75	157,59	18,28	37	6/6	157,46	156,36	3,53
06	6/6	120,90	135,08	12,18	38	6/6	162,60	155,36	-2,00
07	6/6	130,71	139,70	1,39	39	6/6	135,71	132,00	2,29
08	6/6	211,99	214,34	17,58	40	6/6	142,54	156,82	4,25
09	6/6	189,83	186,75	-1,22	41	6/6	182,79	175,95	-10,71
10	6/6	160,91	166,67	3,76	42	6/6	130,43	150,90	26,66
11	6/6	165,42	148,43	-10,20	43	6/6	140,35	139,62	-0,36
12	6/6	106,54	96,91	-9,52	44	6/6	218,67	211,47	-2,74
13	6/6	190,49	172,09	-2,00	45	6/6	236,11	219,32	10,92
14	6/6	104,37	114,53	9,54	46	6/6	131,87	134,40	4,37
15	6/6	156,97	144,43	-10,92	47	6/6	121,68	111,08	-1,63
16	6/6	128,10	141,51	13,37	48	6/6	82,41	83,89	8,11
17	6/6	196,90	195,78	-2,00	49	6/6	166,39	150,83	-0,37
18	6/6	150,33	165,25	8,10	50	6/6	165,02	163,28	-0,68
19	6/6	181,48	178,15	7,62	51	6/6	121,33	109,44	-2,00
20	6/6	170,33	184,02	13,20	52	6/6	140,95	133,06	2,58
21	6/6	139,84	131,17	8,31	53	6/6	160,27	163,98	1,34
22	6/6	115,89	110,71	-1,68	54	6/6	179,52	175,06	-1,47
23	6/6	114,02	128,77	12,66	55	6/6	149,06	146,79	-4,28
24	6/6	92,49	94,08	3,82	56	6/6	191,69	187,14	-0,38
25	6/6	94,65	84,13	-0,20	57	6/6	152,39	151,73	-3,50
26	6/6	127,55	115,26	0,08	58	6/6	145,39	157,20	9,94
27	6/6	216,69	215,87	18,67	59	6/6	108,55	96,90	-12,67
28	6/6	150,51	158,51	7,38	60	6/6	158,06	146,26	-0,27
29	6/6	173,62	178,50	11,42	61	6/6	180,52	174,61	2,74
30	6/6	131,88	120,68	-6,37	62	6/6	114,88	103,67	5,87
31	6/6	143,40	168,06	18,34	63	6/6	134,82	125,64	-2,00

K Ajouts sources et compte de ressources physiques

Les nouveaux fichiers utilisent des chemins relatifs à la publication sans écraser la simulation initiale :

ID	Localisation et interprétation
F13	07_EDITION_2 / CAPACITY_MENU / PROTOCOL.json; SUMMARY.json, SELECTIONS.json, CHECKS.json et plans/ dans ce dossier. Analyse post hoc, non nouvelle qualification.
F14	tools/capacity_study.py; sélection des options et contrôles par équations séparées.
F15	07_EDITION_2/PHYSICAL_LEDGER.json; identités idéales de surfaces et de source, non conception physique.
F16	05_ASSURANCE/SECONDARY_REPLAY.json; répétition locale de l'étude au niveau précisé par le rapport.
F17	08_ARTWORK/ARTWORK_PROVENANCE_EN_FR.md; origine du visuel conceptuel, exclu des preuves scientifiques.

Le compte physique emploie l'irradiance et la luminosité nominales de la résolution B3 de l'UAI, la constante de Stefan-Boltzmann du NIST et des hypothèses explicites de rendement, d'émissivité et de températures [17, 18]. L'expression mathématique de σ est exacte sous les constantes du SI; la décimale imprimée est arrondie. La décimale d'entrée est enregistrée pour la reproductibilité. Les références solaires nominales sont des conventions, non un inventaire mesuré actuel.

La surface de collecte est projetée normalement à l'irradiance de référence. La surface radiative est l'aire émettrice effective totale pour un fond froid sans chauffage incident ni obstruction. Rien n'établit qu'un même équipement assure ces deux surfaces, que la géométrie soit stable, ou que matériaux et transport soient disponibles. Aucun rendement financier n'est calculé à partir de ces puissances. L'inégalité stellaire limite l'énergie interceptée avant même les pertes et exigences de fabrication.

K.1 Ce qui change et ce qui ne change pas

L'édition 2 conserve jeux de données, modèles sélectionnés, résultats, archive du produit et conclusions défavorables. Elle ajoute un menu payant partagé sur les programmes existants, un protocole d'acquisition et de capital, un modèle prospectif de trésorerie et de ressources, un compte physique conditionnel, un visuel généré et des éditions bilingues repensées. Les 31 360 instances initiales n'augmentent pas quand on répète les plans ou ajoute des options. Les 384 résolutions secondaires ne sont jamais additionnées aux 1 328 initiales comme s'il s'agissait de nouvelles preuves principales.

L Édition 3 : évaluation préalable, interface et acceptation

Ce qui a précisément changé. Le manuscrit et son identité visuelle sont reconstruits au niveau des sources LaTeX. Une nouvelle thèse institutionnelle, une frontière de conservation de l'avantage, un dossier de livraison de capacité et un certificat décisionnel proposé complètent les méthodes antérieures. La simulation FORGE-LAB 1.0.0, les modèles sélectionnés, les contrats de projet et le produit SUCCESSOR Ω sous licence restent inchangés. L'étude de menu de capacité de l'édition 2 reste une expérience secondaire distincte, non une révision du résultat principal.

La nouvelle analyse `tools/underwriting.py` lit les valeurs de programme en pleine précision et les plans de menu sélectionnés. Ses 8 262 cellules couvrent deux régimes, 51 fractions de conservation et 81 coûts supplémentaires totaux. Vingt scénarios comparatifs vérifient directement le bootstrap affine. Vingt scénarios de livraison à deux états illustrent une perte de capital prospective. Le script exécute 160 assertions. Ce sont des contrôles comptables numériques, non 160 observations indépendantes de performance.

Le laboratoire décisionnel hors ligne. `10_DECISION_LAB/INDEX.html` est une interface de recherche bilingue autonome. Aucune bibliothèque externe, requête réseau ou API de modèle n'est nécessaire. Elle expose les formules des sections 17–18, conserve les cas négatifs et exporte les hypothèses en JSON. Ses entrées ne modifient pas la simulation, n'ajustent aucun modèle, ne changent aucun plan optimisé et n'autorisent aucun achat. Le moteur numérique dispose de tests dédiés; l'exécution de l'interface et les tests navigateur sont rapportés dans l'acceptation courante sans convertir un test non exécuté en réussite.

Vérifications courantes et vérifications conservées. Cette édition réexécute le rapprochement séparé de 896 plans et les 32 ajustements de modèles sélectionnés, puis résout de nouveau les 320 plans finaux. Elle ne répète pas la sélection des candidats sur développement. Les journaux courants sont dans `05_ASSURANCE`; les anciens sont conservés séparément dans `90_PRIOR_ASSURANCE`. Les nouveaux résultats et figures dérivent de `11_UNDERWRITING/RESULT.json`. Les affirmations principales et secondaires conservent leurs identités de source respectives.

Illustrations et préparation. Une illustration conceptuelle a été générée dans cette conversation, puis recadrée pour ne conserver que l'image. Logos générés, organismes inventés, chiffres de graphiques et texte de publication sont exclus des éléments livrés. Titres, légendes, équations, étiquettes factuelles et figures scientifiques sont rédigés ou calculés séparément. Les images représentent un horizon de recherche imaginé, jamais un résultat industriel ou physique exécuté. Les recadrages et empreintes sont consignés dans `08_ARTWORK/PROVENANCE_FINAL.json`. L'illustration stellaire de l'édition antérieure conserve sa provenance.

TABLE 18. Ajouts au registre affirmation–preuve de l'édition 3. Chemins relatifs à la racine de publication.

ID	Preuve exacte et portée
F14	<code>11_UNDERWRITING/RESULT.json</code> ; transformations post hoc de valeurs conservées et assertions comptables.
F15	<code>11_UNDERWRITING/FRONTIER.csv</code> ; les 8 262 points de grille, sans nouveaux résultats de modèles.
F16	<code>11_UNDERWRITING/DELIVERY.csv</code> ; états prospectifs supposés, non mesures fournisseur.
F17	<code>05_ASSURANCE/SELECTED_REFIT_CURRENT.json</code> ; ajustement courant des modèles, sélections fixes.
F18	<code>05_ASSURANCE/FINAL_REPLAY_CURRENT.json</code> ; nouvelle résolution des plans finaux.
F19	<code>08_ARTWORK/PROVENANCE_FINAL.json</code> ; origines et modifications des images conceptuelles.

M Édition finale d'auteur : portée, corrections et vérification

M.1 Une publication intégrale signée par son auteur

Cette édition est de **Vincent Boucher, président de QUEBEC.AI & MONTREAL.AI**. Couverture, métadonnées, éditions de lecture et sources portent cette attribution. Elle remplace dans la publication actuelle l'ancienne formulation de rapport commandé. Les octets de la simulation historique restent conservés à l'identique; leur préservation ne transforme pas les anciennes couvertures en attribution actuelle.

Les sources finales conservent toutes les sections substantielles, tous les tableaux de résultats, les équations, les repères de preuve et les limites de qualification de l'édition 3. Elles ajoutent la section 21, corrigent l'identité éditoriale, remplacent l'art conceptuel par des recadrages purement picturaux et réunissent les distributions anglaise et française. La nouvelle récurrence et sa borne physique sont des énoncés mathématiques explicitement conditionnels. Elles ne modifient ni entraînement, ni résultats, ni sélection de capacité, ni hypothèses économiques, ni décision locale initiale.

M.2 Trois niveaux de vérification

Calculs empiriques conservés. L'exécution actuelle revérifie les 896 plans de défi par des équations distinctes d'affectation, de ressources et de trésorerie, réajuste les 32 modèles sélectionnés en gardant les sélections initiales fixes et résout à nouveau les 320 plans finaux. Ces contrôles de reproduction utilisent le même hôte. Répéter un calcul ne fournit ni nouvelles observations industrielles ni garde indépendante. Le programme complet de sélection sur données de développement demeure dans la capsule de simulation inchangée.

Arithmétique secondaire et identités formelles. L'analyse de rétention d'avantage et de risque de livraison est réexécutée sur les valeurs conservées à pleine précision. Un script distinct compare la racine de la récurrence productive aux valeurs propres de sa matrice compagne, vérifie le seuil de croissance et l'ordre des délais, puis contrôle l'enveloppe de capacité sur des trajectoires explicites. Ces tests portent sur la mise en œuvre de l'algèbre, non sur la validité industrielle des paramètres illustratifs. Les démonstrations, et non la grille finie de tests, établissent les propositions conditionnelles.

Ingénierie éditoriale. Les deux manuscrits intégraux sont compilés en A4 et Letter à partir des sources livrées. Le dossier vérifie l'auteur, les citations et destinations internes résolues, les limites de page, le rendu, la reconstruction depuis l'archive des sources, les inventaires et l'intégrité des ZIP. Les lecteurs HTML/MathML offrent une voie sémantique complémentaire. Le laboratoire facultatif conserve les limites déclarées de ses tests navigateur; reconstruire la publication ne recertifie ni navigation, ni déploiement réel, ni produit commercial.

TABLE 19. Repères ajoutés pour l'édition finale d'auteur. Les journaux distinguent exécutions actuelles et archives historiques.

ID	Repère actuel et portée
F20	05_ASSURANCE/FINAL_ACCEPTANCE.json : portée des tests et identité de l'édition livrée.
F21	12_FORMAL/RESULT.json : racines, valeurs propres et trajectoires sous plafond.
F22	05_ASSURANCE/AUTHORSHIP_AUDIT.json : contrôles d'auteur dans les sources, métadonnées et textes PDF.
F23	05_ASSURANCE/SOURCE_REBUILD.json : reconstruction en dossier vierge des sources livrées.
F24	05_ASSURANCE/SOURCE_VERIFICATION.json : références primaires vérifiées ; aucun endossement externe.

M.3 Utilisation et distribution

Commencer par la note décisionnelle pour l'investissement, le témoin complet pour la proposition réelle, les méthodes pour reproduire et le compte physique pour les obligations de recherche à long terme. Le laboratoire local sert uniquement à modifier les hypothèses sur résultats fixes. Ce n'est pas un formulaire d'autorisation d'investissement.

Références

- [1] MONTREAL.AI / QUEBEC.AI. *HELIOS Ω : Intelligence as Productive Capital*. Research monograph HELIOS-TR-02, edition 2.0. Predecessor mission; its operating cost is a fixed input to FORGE, not a second credited advantage. 2026.
- [2] MONTREAL.AI / QUEBEC.AI. *FORGE Ω : The Capital-to-Capacity Foundry, Simulation Capsule 1.0.0*. User-supplied executable artifact. Synthetic evidence; original archive preserved unchanged in the complete publication. Source identities in Appendix H. Sept. 2026.
- [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] D. BERTSIMAS et N. KALLUS. « From Predictive to Prescriptive Analytics ». In : *Management Science* 66.3 (2020), p. 1025-1044. DOI : 10.1287/mnsc.2018.3253. arXiv : 1402.5481.
- [5] J. MANDI, J. KOTARY, S. BERDEN, M. MULAMBA, V. BUCAREY, T. GUNS et F. FIORETTO. « Decision-Focused Learning : Foundations, State of the Art, Benchmark and Future Opportunities ». In : *Journal of Artificial Intelligence Research* 81 (2024). FORGE does not implement end-to-end decision-focused training., p. 1623-1701. DOI : 10.1613/jair.1.15320. arXiv : 2307.13565.
- [6] R. KOLISCH et A. SPRECHER. « PSPLIB—A Project Scheduling Problem Library ». In : *European Journal of Operational Research* 96.1 (1997), p. 205-216. DOI : 10.1016/S0377-2217(96)00170-1.
- [7] T. GEBRU, J. MORGENSTERN, B. VECCHIONE, J. W. VAUGHAN, H. WALLACH, H. DAUMÉ III et K. CRAWFORD. *Datasheets for Datasets*. Revised manuscript; original preprint 2018. 2021. arXiv : 1803.09010.
- [8] SCIKIT-LEARN DEVELOPERS. *ExtraTreesRegressor : scikit-learn 1.8.0 Documentation*. 2026. URL : <https://scikit-learn.org/1.8/modules/generated/sklearn.ensemble.ExtraTreesRegressor.html> (visité le 05/09/2026).
- [9] 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 (2010), p. 2079-2107. URL : <https://jmlr.org/papers/v11/cawley10a.html>.
- [10] SciPy DEVELOPERS. *milp : Mixed-Integer Linear Programming*. Version 1.17.0 documentation; wrapper of HiGHS. 2026. URL : <https://docs.scipy.org/doc/scipy-1.17.0/reference/generated/scipy.optimize.milp.html> (visité le 05/09/2026).
- [11] C. A. FIELD et A. H. WELSH. « Bootstrapping Clustered Data ». In : *Journal of the Royal Statistical Society, Series B* 69.3 (2007), p. 369-390. DOI : 10.1111/j.1467-9868.2007.00593.x.
- [12] U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. *R&D Efforts to Address Transformer Supply*. Industrial background only; does not calibrate FORGE costs, durations or treatment effects. URL : <https://www.energy.gov/oe/rd-efforts-address-transformer-supply> (visité le 05/09/2026).
- [13] NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. *Digital Signature Standard (DSS)*. Rapp. tech. FIPS 186-5. NIST, 2023. DOI : 10.6028/NIST.FIPS.186-5. URL : <https://csrc.nist.gov/pubs/fips/186-5/final>.
- [14] 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.
- [15] NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. *Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0)*. Rapp. tech. AI 100-1. NIST, 2023. DOI : 10.6028/NIST.AI.100-1.
- [16] NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. *In-Space Servicing, Assembly, and Manufacturing*. Background on future capability classes only; does not validate FORGE. URL : <https://www.nasa.gov/isam/> (visité le 05/09/2026).
- [17] INTERNATIONAL ASTRONOMICAL UNION. *Resolution B3 : Recommended Nominal Conversion Constants for Selected Solar and Planetary Properties*. Nominal irradiance and luminosity are conversion conventions, not deployment evidence. 2015. URL : <https://www.iau.org/common/Uploaded%20files/IAUGA2015-Resolution-B3-recommended-nominal-conversion.pdf> (visité le 05/09/2026).
- [18] NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. *CODATA Value : Stefan-Boltzmann Constant*. Exact constant under the SI definition; the printed decimal is approximate. URL : <https://physics.nist.gov/cuu/Constants/Table/allascii.txt> (visité le 05/09/2026).