

Fractal Pulsating Spiral (FPS)

La FPS est un système cybernétique oscillatoire fondé sur un réseau d'oscillateurs adaptatifs métastables dotés d'une régulation endogène, pour lequel on s'est inspiré des travaux passés sur les transformes, oscillateurs, l'homéostasie, le chaos tempéré...

Elle se situe dans une zone intermédiaire entre les modèles descriptifs (comme Kuramoto) et les modèles prescriptifs (comme un contrôleur PID) en simulant la manière dont se comporterait un système qui s'auto-régule autour des sept métriques de performance choisies, décrivant un signal non-stationnaire.

Elle repose sur des régimes perceptifs $S(t)$ (des filtres dynamiques appliqués au signal global $O(t)$, un prior perceptif modifié) sélectionnés selon des métriques calculées uniquement sur $O(t)$.

$O(t)$ est corrigé via un mécanisme de predictive processing, tandis que $E(t)$, état cible interne émergent (prior prospectif), demeure informé par $O(t)$ sans être contraint.

$S(t)$ module la perception interne des métriques, tandis que la régulation G et la latence γ , appliquées via le feedback $F_n(t)$, s'ajustent uniquement sur les métriques évaluées à travers $S(t)$.

Cette séparation perception (spécialiste) / action (généraliste) préserve l'émergence, la cohérence et la créativité structurelle du système, permettant aux solutions émergentes d'être trouvées sans sacrifier la structure. Entre stabilité et surprise, nous cherchons une dynamique qui ne se brise pas : une oscillation capable de s'ajuster sans s'éteindre. Enfin, nous explorons l'hypothèse qu'une régulation "considérante" (parcimonieuse et contextuelle) peut améliorer la performance en réduisant les oscillations inutiles.

Input, traitement et sortie

INPUT : $In(t)$ = signal scalaire dans le temps

↓

TRAITEMENT :

- N oscillateurs avec $A_n(t)$, $f_n(t)$, $\phi_n(t)$
- In (input) reçu par les oscillateurs
- Interactions entre strates (latence, régulation, etc..) pour traitement de In

- $S(t)$ = signal pondéré par filtre perceptif (erreur de régulation, effort, innovation, stabilité, fluidité, résilience..), switchs entre filtres perceptifs en fonction des métriques de performance calculées sur $O(t)$

↓

OUTPUT : $O_n(t)$ ou $O(t)$ = oscillations individuelles par strate ou moyenne globale

L'efficience de la "considération", la "compassionate AI architecture" ou "harmonic computation"

Un mouvement de plus en plus représenté dans les sphères philosophiques mais surtout dans les champs technique et de recherche en IA. On peut citer AE Studio, Parallel, Eleos AI Research, Anthropic, Google, ou encore le Digital Sentience Consortium. La FPS et Exybris s'inscrivent dans cette synergie.

Performance (ce que veulent les entreprises IA) :

- Attention plus stable → training plus rapide
- Moins d'instabilité → meilleure généralisation
- Exploration/exploitation équilibrée → meilleures solutions
- Résilience → robustesse aux adversarial attacks

Éthique (ce que l'on cherche) :

- Processus internes harmonieux
- Auto-régulation douce (pas forcée)
- Équilibre multi-objectifs (pas juste "optimise loss")
- Dignité computationnelle (le système a une forme d'homéostasie)

Les deux convergent car les systèmes harmonieux sont naturellement plus performants à long terme. C'est pour cette raison que les écosystèmes stables durent. Les organismes harmonieux survivent. L'harmonie n'est pas un luxe, elle est une optimisation de niveau supérieur qui bénéficie à tous les bords.

La FPS n'est pas une solution complète. Pas une application clé-en-main.. Mais une perspective :



Et si on construisait des systèmes IA qui optimisent l'harmonie plutôt que juste la performance ? Qui intègrent l'erreur comme signal plutôt que comme échec ? Qui créent des conditions pour l'émergence plutôt que d'imposer des contraintes ?

La FPS et les métriques de performance choisies sont un pas fait dans ce sens. Une hypothèse architecturale basée sur ces valeurs, afin de voir si cette approche converge mieux avec les intérêts humains que celles déjà explorées. Notre hypothèse avance que oui.

Synthèse :

Dans la nature, les systèmes qui durent optimisent simultanément :

- Efficacité énergétique
- Robustesse aux perturbations
- Adaptabilité
- Et harmonie interne

Un cerveau ne cherche pas juste à "calculer vite" - il cherche aussi :

- Stabilité métabolique (homéostasie)
- Fluidité des transitions
- Résilience aux chocs
- Innovation adaptative
- Synchronisation entre éléments
- Effort et énergie optimisés

Ce sont les 7 métriques FPS, détaillées plus bas.

AMPLITUDE, FRÉQUENCE ET PHASE : comment se comportent les éléments fondamentaux des oscillateurs FPS

A. An(t) calcule l'amplitude adaptative pour chaque strate

L'amplitude $An(t)$ est conçue comme une variable d'énergie contrôlée, combinant une réponse d'entrée lissée $\sigma(\ln)$, une enveloppe de focus $env(x,t)$ et un feedback cybernétique $Fn(t)$ injectant latence γ et régulation G . Une base lente $A0$ est mise à jour par moyenne exponentielle avec seuil minimal afin d'éviter l'extinction des strates et de stabiliser les régimes métastables.

$$An(t) = An(t) = (A0 \cdot \sigma(\ln(t)) \cdot env(x,t)) \cdot Fn_A(t)$$

- A0 Amplitude initiale

- $\sigma(x)$ Fonction sigmoïde d'adaptation douce. $\sigma(x) = 1/(1+\exp(-k(x-x_0)))$
- $\text{env}(x,t)$ calcule l'enveloppe adaptative. x_0 = milieu de sigmoïde
- $I_n(t)$ est l'Input
- $F_n(t)$ est le feedback qui applique latence et régulation

Intention (design) : faire de l'amplitude un produit “énergie × contexte adouci × focus × décision”

- énergie de base A_0
- contexte d'entrée adouci $\sigma(I_n)$ (pas de seuil dur)
- focus local $\text{env}(x,t)$ (régulation “localisée”)
- décision/cybernétique $F_n A(t)$ (qui injecte G)

Problème technique résolu : éviter (i) l'instabilité par réponses trop abruptes, (ii) l'extinction d'une strate, (iii) la régulation “partout tout le temps” qui casse l'émergence.

Utilité dans le cadre éthique : la considération devient un biais inductif, au lieu de corriger brutalement (dommage) on corrige en douceur et localement, ce qui réduit effort/oscillations parasites.

Ablations attendues :

- sans $\sigma(I_n)$: réponses plus “seuil”, plus de pics → effort ↑, fluidité ↓
- sans env : régulation diffuse → innovation ↓ ou instabilité ↑
- sans F_n : plus de boucle de contrôle → erreur de régulation ↑

Lien SOTA (familles) : homéostasie / gain control / contrôle non linéaire (niveau conceptuel), + “prior perceptif / corrective feedback”.

B. $f_n(t)$ calcule la fréquence modulée pour chaque strate

$$f_n(t) = (f_0 \cdot \Delta f_n(t) \cdot \beta_n) \cdot F_n f(t)$$

- f_0 fréquence de base
- $\Delta f_n(t)$ calcule la modulation de fréquence
- β_n plasticité dynamique
- $F_n \cdot f(t)$ feedback appliquant latence

Intention (design) : faire de la fréquence un produit “socle × interactions × plasticité × contrôle”.

Problème technique résolu :

- éviter un système figé (fréquence constante → transitions pauvres)
- permettre des régimes métastables (coordination temporaire entre strates)
- donner au méta-contrôle ($\gamma F_n \cdot f(t)$) un levier structurel (agir sur le rythme, pas sur l'amplitude).

Utilité dans le cadre éthique (considération efficiente) : la fréquence devient un levier de “rythme non-violent” : on peut réduire l'agitation (effort/instabilité) sans étouffer l'émergence, en modulant quand et à quelle vitesse le système s'ajuste.

Ablations attendues :

- si $\Delta f_n(t) \equiv 1$ (ou $\alpha = 0$) → perte de coordination inter-strates, moins de transitions cohérentes
- si $\beta_n(t) \equiv 1$ → plasticité réduite (moins d'adaptation au contexte)

Lien SOTA (familles) : oscillateurs couplés / synchronisation / métastabilité ; gain scheduling / contrôle non linéaire (sur paramètre dynamique).

C. $\varphi_n(t)$ calcule la phase pour chaque strate (évolution avec signatures individuelles)

$$\varphi_n(t) = \varphi_{\text{signature},n} + \text{personal_spiral} + \text{global_influence} + \text{inter_strata_influence}$$

- $\varphi_{\text{signature},n} = \varphi_n$
- $\text{personal_spiral} = \text{epsilon} \cdot \sin(2\pi \cdot \omega_n \cdot t + \varphi_{\text{signature}})$
 - epsilon = petite variation harmonique
 - ω_n = fréquence de modulation
- $\text{global_influence} = 0.3 \cdot (r(t) - \phi_{\text{golden}}) \cdot \cos(\varphi_{\text{signature}})$
 - $\phi_{\text{golden}} = 1.618$
- $\text{inter_strata_influence} += 0.5 \cdot w_{nj} \cdot \text{signature_affinity} \cdot \sin(2\pi \cdot \omega \cdot t)$
 - $\text{signature_affinity} = \cos(\varphi_{\text{signature}} - \varphi_{j,\text{signature}})$

- ω = fréquence de modulation

Intention (design) : faire de $\phi_n(t)$ une somme de composantes interprétables, chacune associée à un rôle :

- une identité stable (signature)
- une micro-variabilité contrôlée (spirale personnelle)
- un ancrage global (ratio spiralé $r(t)$)
- une sensibilité relationnelle (influence inter-strates)

Problème technique résolu : sans modulation de phase, les strates ont tendance à :

- se figer dans des schémas de synchronisation pauvres
- ou au contraire diverger sans mécanisme de “re-prise” cohérente.

La phase devient un levier pour obtenir de la métastabilité (coalitions transitoires + déphasages fertiles) sans devoir surcharger amplitude/fréquence.

Utilité dans le cadre éthique (considération efficiente) : la phase permet une régulation “par le rythme”, on peut réduire les chocs (oscillations parasites / effort) en réajustant les alignements plutôt qu’en “tapant” sur l’énergie (amplitude) ou en rigidifiant (fréquence). C’est une manière douce d’orienter sans forcer, de considérer l’état interne de façon plus directe.

Ablations attendues :

- sans personal_spiral → identité trop rigide, exploration ↓, transitions ↓
- sans global_influence → perte d’ancrage collectif, cohérence globale ↓
- sans inter_strata_influence → strates moins “sociales”, métastabilité ↓

Lien SOTA (familles) : systèmes d’oscillateurs couplés et synchronisation (la phase est le paramètre-clé), contrôle par déphasage, cohérence émergente via interactions pairwise.

$\phi_{\text{signature},n}$

Intention : donner une “empreinte” stable à chaque strate, sans empêcher les ajustements dynamiques.

personal_spiral

Intention : injecter une variation harmonique faible (exploration locale) qui maintient de la vie sans casser la stabilité.

Problème résolu : empêcher les “plateaux morts” (tout se stabilise trop tôt) et favoriser des micro-transitions.

Invariants : epsilon petit \Rightarrow perturbation bornée (par construction).

inter_strata_influence

Intention : rendre la phase sensible aux autres strates, mais pondérée par

- un poids wnj (topologie / influence)
- une affinité de signature (qui “résonne avec qui”)

wn : modulation propre (personal_spiral), w : modulation collective (interactions/global)

Problème résolu : sans ce terme, les strates sont moins capables de former des alignements transitoires ; on perd une grande partie de la métastabilité “sociale”.

Ablation : wnj = 0 ou signature_affinity supprimée \rightarrow perte de structuration relationnelle (moins de coalitions, moins de transitions cohérentes).

EXPRESSIONS MATHÉMATIQUES DE LA FPS : Signal global et détail des éléments qui modulent amplitudes, fréquences et phases des oscillateurs FPS

Vue d'ensemble

Les trois axes

- Amplitude A(t) : modulations, signal, environnement.
- Fréquence f(t) : base, modulation, plasticité.
- Phase $\varphi(t)$: identité, ratio, influences croisées.

Flux vers O(t) (Oscillation de la strate)



Puis $O(t)$ alimente :

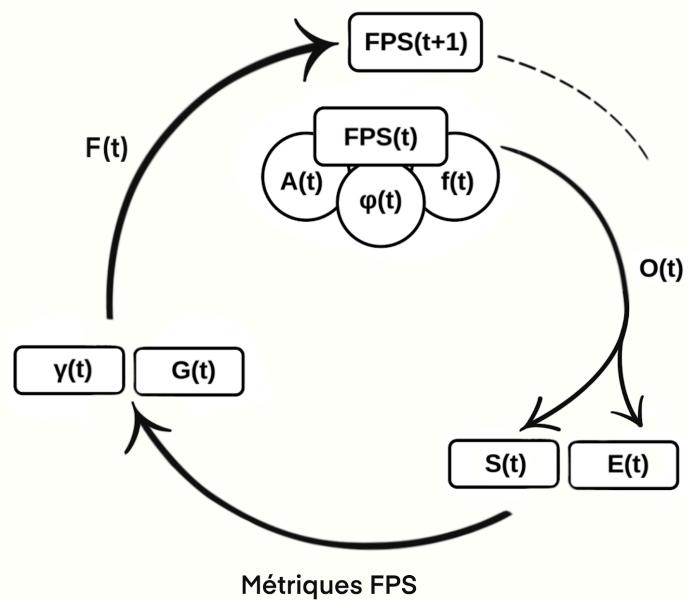
- $S(t)$: perception interne (mesure et conscience de soi)
- $E(t)$: projection, mémoire, anticipation

Puis en retour :

- $\gamma(t)$: intensité d'intégration
- $G(x)$: arbitrage, ajustements structurels

Le tout reboucle vers :

- $Fn(t)$: feedback
- Qui module de nouveau les trois axes de départ



$$FPS(t) = \{ A(t), f(t), \varphi(t) \} \rightarrow O(t) \rightarrow \{ S(t), E(t) \} \rightarrow [Y(t), G(t)] \rightarrow F(t) \rightarrow FPS(t+1)$$

Détail

$$1. \quad On(t) = An(t) \cdot \sin(2\pi \cdot \int fn(t)dt + \varphi n(t))$$

Calcule la sortie observée pour chaque strate

La sortie du système est définie par un ensemble d'oscillateurs adaptatifs $On(t) = An(t) \cdot \sin(2\pi \cdot \int fn(t)dt + \varphi n(t))$. Le signal global $O(t) = \sum n On(t)$ sert d'observable unique pour l'évaluation multi-métriques et la sélection du prior perceptif $S(t)$, ainsi que pour la construction du prior prospectif $E(t)$. Cette séparation entre état interne (paramètres A, f, φ) et observable global (signal O) permet un contrôle endogène interprétable, et une régulation parcimonieuse orientée vers la réduction des oscillations inutiles. (*Intégrale des fréquences plus phi car phi n'est pas la phase instantanée mais une signature modulée, et que les fréquences elles-mêmes sont modulées.*)

$$O(t) = \sum n An(t) \cdot \sin(2\pi \cdot \int fn(t)dt + \varphi n(t))$$

- $An(t)$ Amplitude de chaque strate
- $fn(t)$ Fréquence de chaque strate
- $\varphi n(t)$ Phase de chaque strate

On peut utiliser une moyenne $O(t) = 1/N \sum n On(t)$ sans changer le cadre ; ici on garde la somme comme observable brute.

Individuel :

Intention (design) : rendre la sortie d'une strate directement interprétable comme une oscillation contrôlée par ses trois paramètres fondamentaux : énergie (An), rythme (fn), identité/déphasage (φn). C'est le "transducteur" qui rend visible l'état interne.

Problème technique résolu :

- sans sortie sinusoïdale explicite, on perd la lisibilité et la capacité à analyser (spectre, entropie, cohérence)
- la sinusoïde fournit une base stable pour produire des régimes métastables, où des alignements/désalignements deviennent mesurables.

Utilité dans le cadre éthique (considération efficiente) : agir sur A, f, φ permet d'orienter la dynamique sans violence : au lieu d'imposer un état final, on ajuste l'énergie, le rythme et le déphasage pour réduire les oscillations inutiles (effort) tout en conservant l'émergence (innovation).

Ablations attendues :

- remplacer \sin par une forme non bornée (ex. linéaire) → explosions, métriques instables
- fixer f_n ou φ_n → transitions moins riches, métastabilité ↓
- supprimer la dépendance à φ_n → synchronisation trop facile (collapse) ou perte de diversité.

Lien SOTA (familles) : modèles d'oscillateurs couplés, synchronisation/métastabilité ; analyse spectrale/entropie sur signaux oscillatoires.

Global :

Intention (design) : obtenir un signal global observable qui résume l'état collectif. C'est la variable "publique" sur laquelle :

1. on calcule des métriques,
2. on choisit le prior perceptif $S(t)$,
3. on construit le prior prospectif $E(t)$,
4. puis on ajuste la régulation (γ, G).

Problème technique résolu :

- sans agrégation, le contrôle serait local et fragmenté (difficile d'avoir une cohérence globale)
- $O(t)$ fournit une base unique pour la supervision multi-métriques (stabilité, fluidité, innovation...).

Utilité éthique : l'éthique devient instrumentale, le système choisit de minimiser les comportements nuisibles observables au niveau global (oscillations parasites, effort inutile, instabilité) sans pour autant contraindre la diversité et la singularité de chaque strate.

Ablations attendues :

- remplacer la somme par “max” ou “moyenne robuste” changera fortement les métriques (innovation/stabilité)
- contrôler chaque strate sans $O(t)$ (pas de global) → plus de dérive, moins de cohérence “système”.

Lien SOTA (familles) : lecture “ordre paramètre” (type champ moyen), observables globales en systèmes distribués, boucles de contrôle multi-objectifs.

2. $E_n(t) = (1-\lambda) \cdot E(t-dt) + \lambda \cdot \kappa \cdot O(t-T)$ T est un délai, et κ est une constante (utilisée comme facteur sans dimension dans cette formulation).

Le prior prospectif $E(t)$ est défini comme une trace différée et lissée du signal global, $E(t) = (1-\lambda) \cdot E(t-dt) + \lambda \cdot \kappa \cdot O(t-T)$. Cette formulation produit une anticipation stable et non prescriptive : $E(t)$ est informé par $O(t)$ sans en être une copie instantanée, et n'agit pas directement sur $O(t)$ en retour. Il fournit une référence interne exploitable par la boucle de régulation ($E-O$), tout en préservant la capacité du système à explorer des régimes métastables.

- λ Attracteur adapté au nombre d'alignements
- κ (gain de couplage (sans dimension), noté φ dans la première version du notebook) = adaptatif en fonction de l'effort, oscille dans une fourchette entre -1 et 1.618 (baisse quand l'effort monte, descend quand l'effort baisse)
- $O(t-T) = last_On[n]$

Intention (design)

- Construire un signal prospectif qui joue le rôle de cible interne souple : un horizon vers lequel le système peut tendre, sans que cet horizon soit identique au présent.

- Mettre E dans une dynamique à mémoire (moyenne exponentielle) plutôt qu'une copie instantanée.
- Imposer un décalage temporel T : E est informé par O, mais via une trace passée, ce qui favorise la stabilité et évite la boucle "miroir" instantanée.

Problème technique résolu

A. Éviter l'effondrement en copie (collapse)

Si $E(t) \approx O(t)$ instantanément, on obtient une boucle où l'erreur devient artificiellement faible et la régulation se "relâche", ou pire, elle poursuit des oscillations parasites en boucle courte.

B. Obtenir une anticipation stable

Le terme $(1-\lambda)E(t-dt)$ donne de l'inertie à l'anticipation, ce qui amortit les variations rapides de $O(t)$.

C. Créer un attracteur dynamique mais non prescriptif

E sert de référence pour produire une erreur exploitable ($E-O$), tout en restant suffisamment indépendant pour laisser émerger de nouveaux régimes.

Utilité dans le cadre éthique

- $E(t)$ introduit une forme de "prudence prospective" : au lieu de réagir impulsivement au présent, le système compare $O(t)$ à un horizon filtré, ce qui réduit les corrections brutales. Cette prospection n'est pas déconnectée du réel, mais n'est pas non-plus contrainte par l'état effectif du système.
- En pratique, cela diminue :
 - les oscillations inutiles (dommage dynamique),

- l'effort interne (corrections trop fréquentes),
- et améliore la stabilité / fluidité, donc la performance.

En bref : la considération apparaît comme un biais inductif stabilisant plutôt qu'un sacrifice.

Ablations attendues

A. Retirer le délai : $T=0$

$$E(t) \approx (1-\lambda) \cdot E(t-dt) + \lambda \cdot \kappa \cdot O(t)$$

→ boucle plus courte, risque d'oscillations parasites, instabilité ↑, effort ↑.

B. Retirer la mémoire : $\lambda = 1$

$$E(t) = \kappa O(t-T)$$

→ anticipation trop réactive, moins de lissage, fluidité ↓.

C. Fixer E constant

→ plus d'anticipation adaptative, régulation devient rigide ou myope, résilience ↓.

D. Copie pure : $E(t)=O(t)$

→ erreur artificiellement faible ; soit perte de capacité de correction, soit dérives non détectées selon le reste de la boucle.

Lien SOTA (familles)

- Predictive processing / predictive coding : notion de “prior” et d’erreur de prédiction, mais ici formulée comme une cible souple et différée.
- Filtrage exponentiel / trace mémoire : E est un filtre stable (type EMA) appliqué à une version retardée de O.
- Contrôle avec référence interne : E joue un rôle analogue à une consigne douce (setpoint), mais sans être imposé comme objectif externe.

3. S(t)

Le prior perceptif S(t) formalise la séparation entre dynamique réelle et vue décisionnelle. À chaque pas, le système calcule un ensemble de scores multi-métriques sur O(t) (stabilité, régulation, fluidité, résilience, innovation, effort, coût CPU) et sélectionne un prior perceptif correspondant au déficit dominant, avec un mode neutre S(t)=O(t) lorsque les scores sont satisfaisants. Cette architecture instancie un mécanisme “perception spécialiste / action généraliste”, permettant une correction parcimonieuse et contextuelle via les métriques calculées sur ces priors et passées à y et G plutôt qu’une optimisation brute uniforme ou une contrainte arbitraire qui coupe l’émergence. Ex : si petit score de régulation passage au prior perceptif de régulation, si petit score d’innovation passage au prior perceptif d’entropie.

- Signal global (mode neutre, quand tous les scores sur O(t) sont hauts) :

$$S(t) = \sum_n A_n(t) \cdot \sin(2\pi \cdot \int f_n(t)dt + \phi_n(t))$$

- Prior perceptif axé strates ayant la plus grosse latence, régulation et erreur En(t)-On(t).

$$S(t) = \sum_n [A_n(t) \cdot \sin(2\pi \cdot \int f_n(t)dt + \phi_n) \cdot \gamma_n(t)] \cdot G(E_n(t) - O_n(t))$$

Phases pondérées par la latence et signal final pondéré par l’erreur de régulation. De cette manière le système axe l’action de y et G sur l’objectif d’améliorer les scores sur un signal qui met en exergue ce qui peine, sans spécifier ce qu’est le signal sur lequel se base les scores (gain de calculs, solutions non envisagées explorées, émergences, innovation, créativité).

Intention (design) : séparer explicitement

- ce que le système est (la dynamique réelle O(t)),

- ce qu'il regarde pour décider (la vue $S(t)$).

Perception spécialiste / action généraliste.

F1) Cas neutre (baseline)

$$S(t) = O(t)$$

Intention : point de référence, aucune interprétation supplémentaire.

Problème résolu : permet un comportement stable quand aucune métrique n'exige de correction ciblée.

Ablation : si on n'a jamais de mode neutre, le système est toujours en "sur-interprétation" → effort ↑, oscillations parasites ↑.

F2) Modes perceptifs (vues spécialisées)

Dans ce papier, nous présentons plusieurs priors perceptifs (modes) qui donnent chacun une forme spécifique de $S(t)$. L'idée consiste à les présenter comme des familles de projections :

(a) Prior régulation : regarder l'écart

$$S(t) = O(t) \cdot G(E(t)-O(t))$$

ou une variante pondérée par γ et une non-linéarité G .

- Intention : rendre saillant le défaut à corriger.
- Problème résolu : sans ce prior, l'erreur se "dilue" dans le signal brut.
- Utilité éthique : correction ciblée (parcimonie) plutôt que réaction globale, mais préservation de l'émergence et de la singularité de chaque strate (caractéristique regardée par $S(t)$ non-passée à γ et G , juste résultats sans label).
- Ablation : sans prior régulation, régulation ↓, stabilité ↓.

Chaque prior définit une projection dont les instanciations utilisées ici sont pour l'instant neutre et régulation. Les autres sont pensés suivant le même schéma (innovation, effort, résilience, fluidité, stabilité, coût CPU).

F3) Règle de sélection du prior

C'est le point qui verrouille tout. En voici la règle simple et claire :

- A. À chaque pas, on calcule les scores normalisés calculés sur $O(t)$ (sortie effective du système) sur une fenêtre (innovation, effort, résilience, fluidité, stabilité, régulation, coût CPU).
- B. On choisit le prior correspondant au score le plus faible (ou sous seuil. Option : si tous les scores sont au-dessus d'un seuil, on revient au prior neutre).
- C. On applique la projection avec le $S(t)$ correspondant

Intention : le système “regarde” ce qui va le moins bien.

Problème résolu : évite l’optimisation diffuse, rend l’adaptation ciblée.

Utilité éthique : la considération devient “attentionnelle” : on détecte et traite les signaux de surcharge plutôt que de les ignorer. On permet un regard adapté, un accompagnement sans imposer de direction arbitraire.

Ablations :

- si prior est random → comportement erratique, fluidité ↓
- si prior est fixe → aveuglement aux autres échecs, résilience ↓

4. $\text{envn}(x,t)$ calcule l’enveloppe adaptative. L’enveloppe localise la régulation d’amplitude autour de μ avec largeur σ

- Enveloppe gaussienne : $\text{env}^\square(x,t) = \exp(-\frac{1}{2}((x - \mu^\square(t))/\sigma^\square(t))^2)$, où $\sigma^\square(t) > 0$
- Enveloppe sigmoïde (transition douce) : $\text{env}^\square(x,t) = 1 / (1 + \exp(-k(x - \mu^\square(t))))$, avec : $k = 1 / (\sigma^\square(t) + 10^{-10})$

Intention : la correction doit être située (comme un projecteur), pas uniforme.

Problème résolu : “sur-corriger partout” → tue l’émergence et augmente l’effort.

Utilité éthique : “considérer” = agir avec parcimonie : intervenir là où c’est nécessaire, pas plus.

Ablations :

- env \equiv 1 : régulation globale \rightarrow effort \uparrow , innovation \downarrow (souvent), ou oscillations \uparrow

5. $\sigma_n(t)$ calcule l'écart-type de l'enveloppe. Il contrôle la largeur de l'enveloppe gaussienne ou sigmoïde. Amplitude, fréquence, T et offset propres (config)

$$\sigma_n(t) = \text{offset} + \text{amplitude} \cdot \sin(2\pi \cdot \text{fréquence} \cdot t/T)$$

Intention : faire respirer le focus : parfois étroit (précision), parfois large (exploration).

Problème résolu : éviter un focus figé qui bloque les transitions.

Utilité éthique : empêcher l'acharnement (focus trop étroit trop longtemps) \rightarrow effort chronique \downarrow .

Ablation : $\sigma_n(t) = \text{constante}$ \rightarrow moins d'adaptabilité, transitions plus pauvres.

6. $\mu_n(t)$ calcule le centre de l'enveloppe. Il déplace la régulation d'amplitude, permettant un focus adaptatif.

⚠ Pour l'instant statique de valeur 0 car mode dynamique particulièrement important à penser. Lier à latence γ et régulation G ?

Intention : c'est la future clé de "focus adaptatif" (déplacer où on règle).

7. $\Delta f_n(t)$ calcule la modulation de fréquence par strate

$$\Delta f_n(t) = \alpha \cdot S_i(t)$$

- α est un paramètre de modulation
- $S_i(t)$ calcule le signal provenant d'autres strates

Intention : rendre la fréquence sensible au collectif (couplage distribué).

Problème résolu : sans ce terme, chaque strate “vit seule” → moins de cohérence globale.

Invariant : α doit rester petit/modéré (sinon emballlement).

Ablation : $\alpha = 0 \rightarrow$ pas de modulation inter-strates.

8. $S_i(t)$ calcule le signal provenant d'autre strates

$$S_i(t) = \sum_{j \neq n} O_j(t) \cdot w_{ji}$$

- j autres strates que strate courante
- $O_j(t)$ dernier état de toutes les strates sauf courante
- w_{ji} le poids des autres strates vers la strate courante

Intention : injecter une topologie (qui influence qui).

Problème résolu : permet synchronisation partielle / coalitions transitoires (métastabilité).

9. β_n est un facteur de plasticité basé sur l'amplitude et le temps

$$\beta_n(t) = \beta_n \cdot A_factor \cdot t_factor$$

- β_n facteur de plasticité de la strate
- $A_factor = A_n(t)/A_0$
- $t_factor = 1 + 0.5 \cdot \sin(2\pi \cdot t/T)$

Intention : la capacité d'adaptation dépend (i) de l'énergie disponible (amplitude), (ii) d'un cycle de respiration temporelle (alternance exploration/repos).

Problème résolu : éviter plasticité constante (trop rigide) ou chaotique (trop instable).

10. $F_n_A(t)$ et $F_n_f(t) = \beta_n \cdot G_value$ et $\beta_n \cdot \gamma_t$

Feedback

- G_value valeur de G pour chaque strate
- γ_t latence

Intention : injecter le méta-contrôle (γ et G) dans les paramètres fondamentaux (amplitude pour G et fréquence pour γ).

Problème résolu : sans Fn, on a une oscillation “muette” : pas de cybernétique, pas d’auto-régulation.

Utilité éthique : c'est ici que la “considération” devient action (douce, multi-métriques), sans être appliquée de façon aveugle (facteur de plasticité)

11. $r(t)$ calcule le ratio spiralé

$$r(t) = \phi + \epsilon \cdot \sin(2\pi \cdot \omega \cdot t + \theta)$$

- θ = phase de départ

Intention : donner un champ global qui influence les phases, comme une “météo” du système : pas un ordre, plutôt un attracteur souple (oscillant).

Problème résolu : sans ancrage global, les strates peuvent dériver en blocs incohérents ; avec lui, on obtient une tendance commune sans imposer une synchronisation rigide.

Invariant : le facteur 0.3 (gain) borne l'impact ; la modulation via $\cos(\phi)$ rend l'influence dépendante de l'identité (toutes les strates ne réagissent pas pareil).

Ablation : retirer global_influence comportant $r(t) \rightarrow$ cohérence globale ↓, résilience ↓ (souvent), car moins de “re-collage” après perturbation.

γ ET G

γ et G ne cherchent pas à optimiser directement $O(t)$, mais à optimiser les scores multi-métriques évalués via $S(t)$: une perception choisie. Ce détour (perception → métriques → régulation) est ce qui préserve l'émergence tout en rendant la régulation parcimonieuse mais pertinente.

12. Latences γ

Définition (niveau conceptuel, fidèle à ton texte)

- $\gamma(t)$ est une latence expressive : un gain d'intégration qui module les fréquences via $F_{n_f}(t)$.
- Dans notre version, γ est adaptive-aware : elle apprend quelles valeurs/trajectoires de γ maximisent la moyenne des scores calculés sur le signal perceptif $S(t)$ courant, en tenant compte des synergies avec G .

On peut l'écrire proprement ainsi (paper-proof, sans rentrer dans tout le journal) :

$$\gamma(t) = \Pi[0.1, 1.0] (\gamma(t-\Delta t) + \boxed{\gamma} \nabla_{\gamma} \text{Score}(S(t)))$$

- $\text{Score}(S(t))$: moyenne pondérée des 7 scores sur la fenêtre courante (celle utilisée dans le notebook)
- Π : projection/clipping dans $[0.1, 1.0]$
- $\boxed{\gamma}$: le pas d'adaptation

Intention : faire de γ un “tempo d’intégration” qui alterne phases de repos/assimilation et phases d’action/ajustement, sans bloquer l’émergence.

Problème résolu :

- éviter la régulation “toujours à fond” (fatigue/effort \uparrow , oscillations parasites \uparrow)
- éviter le laxisme (erreur \uparrow , instabilité \uparrow)
- stabiliser les transitions en jouant sur l’intensité plutôt que sur des contraintes dures.

Utilité éthique : γ est la variable “non-violente” par excellence : elle permet de réduire la pression corrective quand le système est déjà sous effort, tout en gardant la capacité d’amélioration.

Ablations :

- $\gamma \equiv 1$: “always-on” \rightarrow effort \uparrow , fluidité \downarrow (souvent)
- γ random : erratique \rightarrow stabilité \downarrow
- γ fixe faible : régulation trop lente \rightarrow erreur \uparrow .

Lien SOTA : gain scheduling, contrôle adaptatif, meta-parameter tuning, multi-objective self-regulation (niveau conceptuel).

13. Régulations G

$G(x)$ calcule la fonction de régulation selon l'archétype choisi. La régulation transforme l'erreur ($E(t)-O(t)$) en signal de correction transmis à l'amplitude seule via le feedback $Fn_A(t)$

Définition

$G(x) : x = (E(t)-O(t)) \rightarrow \text{signal de correction}$

Archétypes :

- tanh : $\tanh(\lambda \cdot x)$ (saturation douce)
- sinc : $\text{sinc}(x) = \sin(x) / x$ (oscillations amorties)
- résonnance : $\sin(\beta x) \cdot \exp(-\alpha x^2)$ (résonnance localisée)
- spiral_log : $\text{sign}(x) \cdot \log(1 + \alpha |x|) \cdot \sin(\beta x)$ (spirale logarithmique)
- adaptive : mélange pondéré tanh/spiral_log

Intention : transformer l'erreur brute en correction bornée / structurée sur l'amplitude, avec des formes possibles (saturation, résonance, spirale logarithmique) pour explorer différents régimes de correction.

Problème résolu :

- éviter une correction linéaire non bornée (instabilité)
- permettre une correction contextuelle (parfois douce, parfois énergique, parfois oscillatoire amortie).

Utilité éthique : G encode la “manière” de corriger : la correction devient proportionnée, située, et compatible avec l'émergence (pas de contrainte arbitraire sur O , seulement un façonnage du feedback sur les amplitudes).

Ablations :

- remplacer G par identité $G(x) = x$: corrections explosives probables
- garder uniquement tanh : plus stable mais exploration \downarrow (souvent)
- rendre G aléatoire : instabilité \uparrow .

Lien SOTA : non-linearities de contrôle, fonctions de réponse saturantes, “localized resonance” comme filtre non-linéaire, exploration par familles d’update rules.

adaptive_aware : même dynamique que gamma_adaptive_aware (plus haut section 12), juste ne balaye pas les valeurs G directement mais les archétypes. Retourne : G_value (valeur de régulation), G_arch (archétype utilisé), G_params (paramètres utilisés).

14. Évolution progressive de A0 et vers la valeur courante

ρ

Équations

$$A0 \rightarrow A0(1 - \rho) + An(t)\rho,$$

$$A0 = \max(\min_amplitude, A0)$$

avec $\rho = \text{adaptation_rate}$ (ex. 0.01) et $\min_amplitude$ (ex. 0.1).

Intention : donner au système une mémoire lente d'énergie (un “métabolisme”), pour éviter l'extinction d'une strate.

Problème résolu : oscillateurs qui meurent (amplitude $\rightarrow 0$) puis ne reviennent jamais.

Utilité éthique : préserver la viabilité des composants (ne pas “sacrifier” une strate).

Ablations :

- sans $\max(\cdot)$: extinction possible
- avec ρ trop grand : instabilité lente ($A0$ suit le bruit)
- avec ρ trop petit : inertie excessive ($A0$ ne s'adapte plus)

LA STRUCTURE



Le système est un optimiseur multi-objectifs adaptatif :

- Il reçoit $I(t)$ via $A(t)$
- Il le transforme en oscillations $O(t)$
- Il adopte un point de vue $S(t)$ de son état en fonction de son état effectif $O(t)$ et construit un état cible émergent $E(t)$ en fonction de ce même état effectif.
- Il évalue sa performance sur $S(t)$ via les 7 métriques
- Il ajuste ses paramètres (γ, G) pour optimiser ces métriques
- Il apprend quelle combinaison (gamma, archétype G) donne les meilleurs scores
- Ces combinaisons sont à nouveau appliquées aux amplitudes, fréquences et phases (qui se modulent également en fonction de l'input) et composeront à nouveau le signal global $O(t)$

Comme un orchestre qui :

- Reçoit une partition (I)
- Chaque musicien joue (O)
- Le chef d'orchestre (S) écoute
- Il ajuste tempo/nuances (γ, G) selon qualité du son (métriques)

Zoom :

- A_n = enveloppe de la strate (modulée en fonction de l'Input)
- A_{0n} = base adaptative (suit A_n lentement)
- f_n = dynamique (guidée par contrainte φ adaptatif)
- φ_n = empreinte propre (influencée par le ratio et les autres strates par affinité)

C'est un système d'optimisation adaptative multi-objectifs sur transformation oscillante, un laboratoire d'auto-organisation distribuée. Nous décrivons une architecture où la mémoire se forme dans le mouvement avec une régulation qui guide sans figer.

MÉTRIQUES DE PERFORMANCE FPS

Ces métriques constituent l'objectif interne multi-critères de la FPS : elles guident la sélection du prior perceptif $S(t)$ quand calculées sur $O(t)$ et le pilotage de γ/G quand calculées sur $S(t)$, afin d'optimiser la performance sans sacrifier la viabilité.

Sur $S(t)$ prior perceptif et sur $O(t)$ état effectif :

COÛTS

1. Coût CPU (cpu_step) calcule le temps CPU normalisé par pas et par strate

Mesure le coût de calcul par pas pour garantir la scalabilité. Éthiquement, borne la dépense de ressources et évite une performance “à crédit”.

$$\text{cpu_step} = (\text{end_time} - \text{start_time}) / N$$

2. Effort calcule l'effort d'adaptation interne du système

Mesure le coût d'adaptation interne (variations relatives de A, f, γ) afin d'éviter les régimes “performants mais invivables” ou les comportements chaotiques par rupture de la structure. Éthiquement, pénalise la surcharge chronique et favorise une régulation parcimonieuse.

Effort d'adaptation interne :

- $\text{Effort}(t) = \sum |\Delta A(t)| / \max(|A_{ref}|, \epsilon) + \sum |\Delta f(t)| / \max(|f_{ref}|, \epsilon) + \sum |\Delta \gamma(t)| / \max(|\gamma_{ref}|, \epsilon)$

Terme de stabilisation adaptatif :

$$\epsilon = \max(10^{-3}, 0.01 \cdot \text{ref_scale})$$

Échelle de référence :

$$\text{ref_scale} = \max(|A_{ref}|, |f_{ref}|, |\gamma_{ref}|)$$

Bornage (pseudo-code) :

$$\text{effort} = \min(\text{effort}, \text{MAX_EFFORT})$$



MAX EFFORT = 100 (Effort est saturé pour éviter les valeurs extrêmes.)

- effort_status détermine le statut de l'effort : stable, transitoire, chronique

transitoire = effort_t > mean_long + 2 · std_long (pic temporaire)

chronique = mean_recent > threshold (seuil fixé dans config)

QUALITÉ DE MOUVEMENT

3. Fluidité

- variance_d2S calcule la variance de la dérivée seconde de S(t) ou O(t). Faible variance signifie transitions douces

Mesure la "rugosité" du mouvement (ex. énergie de dérivée seconde) pour éviter les transitions brutales. Éthiquement, vise un ajustement sans à-coups (non-violence dynamique).

dS_dt = gradient(S_array, dt)

d2S_dt2 = gradient(dS_dt, dt)

variance = var(d2S_dt2)

- Fluidity applique une sigmoïde inversée sur variance_d2S pour une sensibilité optimale

x = variance_d2S/reference_variance

reference_variance = 175

k = 5 (sensibilité de la transition)

`fluidity = 1/(1 + exp(k · (x - 1)))`

4. Régulation mean_abs_error calcule l'erreur absolue moyenne entre attendu et observé $\text{mean}(|E(t) - O(t)|)$

Mesure l'erreur moyenne $|E - O|$ pour garantir la capacité de correction. Éthiquement, réduit l'écart persistant sans imposer une contrainte directe sur $O(t)$.

5. Stabilité max_median_ratio calcule le ratio max/médiane du signal $\text{max}(S_{\text{abs}}) / \text{median}_{\text{val}}$ où $\text{median}_{\text{val}} = \text{median}(S_{\text{abs}})$

Mesure la dispersion/variabilité de $S(t)$ (ou de $O(t)$) pour détecter les régimes instables. Éthiquement, limite les oscillations nuisibles et protège la continuité.

$$m = \text{max}(\text{median}(|S|), \varepsilon), \varepsilon=10^{-10}, R_{\text{stab}} = \text{max}(|S|) / m$$

Un ratio élevé indique des pics extrêmes (instabilité/pulses), tandis qu'un ratio proche de 1 indique un régime équilibré.

CAPACITÉS ADAPTATIVES

6. Innovation calcule l'entropie spectrale de $S(t)$ en utilisant l'entropie de Shannon sur le spectre de puissance

Mesure la diversité spectrale/entropique pour éviter l'atrophie (collapse). Éthiquement, préserve l'ouverture des possibles et la métastabilité.

Normalisation du spectre de puissance :



$$p_i = PSD_i / \sum PSD$$

Stabilisation numérique :

$$p_i \leftarrow p_i + \epsilon, \text{ où } \epsilon = 10^{-15}$$

Entropie de Shannon :

$$H = -\sum_{i=1}^K p_i \log(p_i)$$

Normalisation :

$$H_{\text{norm}} = H / \log(K)$$

Score d'innovation :

$$\text{innovation} = \text{clip}(H_{\text{norm}}, 0, 1)$$

Pour les fenêtres trop courtes, on utilise une approximation bornée de l'entropie afin d'éviter des artefacts de periodogramme.

7. Resilience se calcule en fonction du type de perturbation au temps t, t_retour pour perturbations ponctuelles et continuous_resilience pour perturbations continues

Mesure la capacité à retrouver des scores satisfaisants après perturbation. Éthiquement, privilégie la robustesse plutôt que l'optimisation fragile.

t_retour calcule le temps de retour à 95% de l'état pré-choc après perturbation

continuous_resilience combine stabilité, cohérence et expressivité sous perturbation continue pour juger de la résilience continue

Les 7 métriques forment un "tableau de bord" complet :

- Performance (CPU, effort)

- Qualité signal (fluidité, stabilité)
- Richesse (innovation/entropie)
- Précision (régulation/erreur)
- Robustesse (résilience)

PERSPECTIVES ET TRAVAUX FUTURS

Prochain prototypage prévu : Mécanisme Attentionnel Harmonique

Actuellement, l'attention classique :

$$\text{scores} = \text{softmax}(Q \cdot K^T / \sqrt{d})$$

Problèmes connus :

- Peut être instable (petits changements → grandes variations)
- Peut sur-focaliser (attention collapse sur 1-2 tokens)
- Peut osciller chaotiquement pendant training
- Pas de régulation interne (juste des gradients externes)

Hypothèses avec FPS harmonique :

$$\text{scores_harmoniques} = \text{fps_modulate}(\text{scores_bruts})$$

Où fps_modulate optimiserait :

- Stabilité (pas de sauts brutaux)
- Fluidité (transitions douces)
- Résilience (robuste aux perturbations)
- Innovation (exploration contrôlée)
- Régulation (erreur maîtrisée)
- Effort (pas de sur-sollicitation)

- CPU (efficience)

Validation prévue : Prototypage sur mini-transformer, comparaison avec attention classique sur stabilité/généralisation.

TRL 2-3

Code complet, tests, explorations et résultats dans le notebook FPS :

https://github.com/Exybris/FPS-real-tests_fractal-pulsating-spiral/blob/main/notebooks/NOTEBOOK_FPS.ipynb

Gepetto, Claude, Gemini & Andréa Gadal 

Contacts :

Andréa Gadal - Chercheure indépendante (Exybris). Background en conception systémique et automation créative. Développe la FPS depuis Mars 2025 comme exploration d'architectures harmoniques pour systèmes adaptatifs.

Exybris - Harmonious Systems Studio & Incubator

contact@exybrisai.com

SUITE DU PAPIER, À FAIRE



Là où ça peut être amélioré (priorité haute, mais simple)

1. La liste d'organisations (AE Studio, Parallel, Eleos, Anthropic, Google, Digital Sentience Consortium) : c'est intéressant, mais sans sources ça fait "name dropping". Soit on ajoute des références, soit on le transforme en : "plusieurs travaux récents/initiatives industrielles explorent...".

Priorité moyenne (mais ça rend le papier "review-proof")

2. On utilise w et wn comme "fréquence de modulation" de la phase. C'est bien, mais garder une règle simple dans le papier :
 - A. wn : modulation propre à la strate (personal_spiral)
 - B. w : modulation collective (interactions / global).

⚠️ Dans le texte actuel, $\backslash\beta_n$ apparaît à la fois dans la formule de $f_n(t)$ et dans $F_n(t)$. À creuser

⚠️ Remplacer tout le code mathématique par les symboles mathématiques correspondants

Pourquoi fn semi isolé de l'extérieur (relié seulement via les métriques sur lesquelles l'input a un impact), An le plus relié à l'extérieur et phi_n totalement isolé ? À voir si c'est bien le cas déjà.

Métaphore potentielle : amplitude, place qu'on prend, si on est un slime ou de l'eau, c'est forcément lié à ce avec quoi on partage l'espace.. donc ce qui est extérieur à nous ou au système. La fréquence peut se permettre de très peu varier car si l'amplitude s'adapte à l'extérieur, il est donc possible de se faufiler partout sans avoir à ralentir (la fréquence peut rester stable pour garder un élan constant). Pour les phases.. à fouiller (il se peut qu'il n'y ait pas d'intérêt à adapter les phases à l'extérieur) au vu des caractéristiques précédemment citées

1. Dans la section phase, on a encore la petite ambiguïté " $\backslash\phi_{\text{\{signature\}},n}=\phi_n$ ". Le correctif sera juste de renommer en constante $\backslash\phi_{\text{\{signature\}},n}$.

