

# Fractal Pulsating Spiral (FPS)

La FPS est un système cybernétique oscillatoire fondé sur un réseau d'oscillateurs adaptatifs métastables dotés d'une régulation endogène.

Elle repose sur des régimes perceptifs bayésiens  $S(t)$  (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  $\gamma$ , 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 stabilité.

C'est du prédictive processing distribué avec séparation perception/action.

---

## Input, traitement et sortie

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

↓

### TRAITEMENT :

- $N$  oscillateurs avec  $A_n(t)$ ,  $f_n(t)$ ,  $\phi_n(t)$
- Modulation par  $I_n$  via  $A_n(t) = \sigma(I_n(t)) \times \dots$
- Interactions entre strates (latence, régulation, )
- $S(t)$  = signal pondéré par erreur de prédiction

↓

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

$S(t)$  = signal du prior perceptif Bayésien



---

## 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.

---

## 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, Berkeley ou encore le Digital Sentience Consortium. La FPS et Exybris s'inscrivent dans ce mouvement.

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 parce que les systèmes harmonieux sont naturellement plus performants à long terme. C'est pour ça que les écosystèmes stables durent. Les organismes harmonieux survivent. L'harmonie n'est pas un luxe. C'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 ses métriques de performance sont un pas fait dans ce sens.

---

**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

C'est les 7 métriques FPS

## 1. EXPRESSIONS MATHÉMATIQUES DE LA FPS

1.  $O(t) = A(t) \cdot \sin(2\pi \cdot f(t) \cdot t + \varphi(t))$

Calcule la sortie observée pour chaque strate

Global :  $O(t) = \sum A(t) \cdot \sin(2\pi \cdot f(t) \cdot t + \varphi(t))$

- $A(t)$  Amplitude de chaque strate
- $f(t)$  Fréquence de chaque strate
- $\varphi(t)$  Phase de chaque strate

2.  $E(t) = (1-\lambda) \cdot E(t-dt) + \lambda \cdot \varphi \cdot O(t-T)$

$E(t)$  est un prior prospectif informé par  $O(t)$  mais non-constraint par lui. Il est passé indirectement à  $O(t)$  par le prior perceptif Bayésien de régulation  $S(t)$  (qui influence l'action de la latence et de la régulation sur l'amplitude et la fréquence afin de minimiser l'erreur  $E(t)-O(t)$ ).

- $\lambda$  Attracteur adapté au nombre d'alignements
- $\varphi = 1.618$
- $O(t-T) = \text{last\_On}[n]$

### 3. $S(t)$

$S(t)$  est le prior perceptif Bayésien utilisé au moment  $t$  pour informer la latence gamma et la régulation  $G$  grâce à la moyenne des scores de performance (à partir de métriques calculées sur ce signal). Les différents priors perceptifs Bayésiens sont sélectionnés en fonction des mêmes scores de performance, même si le mécanisme ici regarde le score de chaque métrique et pas qu'une moyenne, mais calculés sur  $O(t)$ . 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) :

$$S(t) = \sum A(t) \cdot \sin(2\pi \cdot f(t) \cdot t + \varphi(t))$$

- Prior perceptif Bayésien axé strates ayant la plus grosse latence, régulation et erreur  $E(t)-O(t)$ .

$$S(t) = \sum [A(t) \cdot \sin(2\pi \cdot f(t) \cdot t + \varphi) \cdot \gamma(t)] \cdot G(E(t) - O(t))$$

Phases pondérées par la latence et signal final pondéré par l'erreur de régulation. De cette manière le système axe l'action de G et γ 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).

#### 4. $A(t)$ calcule l'amplitude adaptative pour chaque strate

$$A(t) = A_0 = (A_0 \cdot \sigma(I(t)) \cdot \text{env}(x,t)) \cdot F(t)$$

- $A_0$  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
- $I(t)$  est l'Input
- $F(t)$  est le feedback qui applique latence et régulation

#### 5. $\text{env}(x,t)$ calcule l'enveloppe adaptative. L'enveloppe localise la régulation autour de $\mu$ avec largeur $\sigma$

- Enveloppe gaussienne :  $\exp(0.5 \cdot ((x - \mu(t))/\sigma(t))^2)$
- Enveloppe sigmoïde (transition douce) :  $1/(1 + \exp(-k \cdot (x - \mu(t))))$  ( $k = 1/(\sigma(t) + 1e - 10)$  pour protection division par 0)

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

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

#### 7. $\mu(t)$ calcule le centre de l'enveloppe. Il déplace la régulation, permettant un focus adaptatif.

⚠ Pour l'instant statique de valeur 0 car mode dynamique particulièrement important à penser

## 8. $f(t)$ calcule la fréquence modulée pour chaque strate

$$f(t) = (f_0 \cdot \Delta f(t) \cdot \beta) \cdot F(t)$$

- $f_0$  fréquence de base
- $\Delta f(t)$  calcule la modulation de fréquence
- $\beta$  plasticité dynamique
- $F(t)$  feedback appliquant latence et régulation

## 9. $\Delta f(t)$ calcule la modulation de fréquence par strate

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

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

## 10. $S_i(t)$ 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

## 11. $\beta$ est un facteur de plasticité basé sur l'amplitude et le temps

$$\beta(t) = \beta \cdot A\_factor \cdot t\_factor$$

- $\beta$  facteur de plasticité de la strate
- $A\_factor = A(t)/A_0$
- $t\_factor = 1 + 0.5 \cdot \sin(2\pi \cdot t/T)$

## 12. $F(t) = \beta \cdot G\_value \cdot \gamma_t$

Feedback

- $G\_value$  valeur de  $G$  pour chaque strate
- $\gamma_t$  latence

### **13. $\varphi_i(t)$ calcule la phase pour chaque strate (évolution avec signatures individuelles)**

$\varphi_{\text{signature}} = \varphi_i$

$\text{personal\_spiral} = \epsilon \cdot \sin(2\pi \cdot \omega_n \cdot t + \varphi_{\text{signature}})$

$\epsilon$  = petite variation harmonique

$\omega_n$  = fréquence de modulation

$\text{global\_influence} = 0.3 \cdot (r(t) - \varphi_{\text{golden}}) \cdot \cos(\varphi_{\text{signature}})$

$\varphi_{\text{golden}} = 1.618$

$\text{inter\_strata\_influence} += 0.5 \cdot w_j \cdot \text{signature\_affinity} \cdot \sin(2\pi \cdot \omega \cdot t)$

$\text{signature\_affinity} = \cos(\varphi_{\text{signature}} - \varphi_j)$

$\omega$  = fréquence de modulation

### **14. $r(t)$ calcule le ratio spiralé**

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

- $\theta$  = phase de départ

### **15. Latences gamma $\gamma$**

$\gamma_{\text{adaptive\_aware}}$  fait varier la latence  $\gamma_i(t)$  en fonction des combinaisons avec  $G$  et de leur impact sur la moyenne des scores de performance calculés sur le signal du prior perceptif Bayésien  $S(t)$  en cours. Surveillance multi-critères (6 métriques), conscience de l'archétype  $G$  actuel, communication bidirectionnelle avec  $G(x)$ , journal enrichi des découvertes couplées.

### **16. Régulations $G$**

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

Archétypes :

- tanh :  $\tanh(\lambda \cdot x)$  (saturation douce)
- sin :  $\text{sinc}(x)/x$  (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

adaptive\_aware : même dynamique que gamma\_adaptive\_aware (plus haut section 15), ne balaye juste pas les valeurs G mais les archétypes. Retourne : G\_value (valeur de régulation), G\_arch (archétype utilisé), G\_params (paramètres utilisés).

## 17. Évolution progressive de $A_0$ et $f_0$ vers la valeur courante

$$\text{New}_A_0 = A_0 \cdot (1 - \text{adaptation\_rate}) + \text{current}_A \cdot \text{adaptation\_rate}$$

$$A_0 = \max(\text{min\_amplitude}, \text{New}_A_0)$$

$$\text{adaptation\_rate} = 0.01 \text{ (éviter extinction)}$$

$$\text{min\_amplitude} = 0.1$$

$$f_0 = f_0 \cdot (1 - \text{adaptation\_rate}) + \text{current}_f \cdot \text{augmentation adaptation\_rate}$$

## 18. C(t) mesure la cohérence locale des phases adjacentes

$$C(t) = (1/N) \cdot \sum \cos(\varphi_{n+1}(t) - \varphi_n(t))$$

$$\text{phase\_diff} = \text{phi\_n\_array}[n + 1] - \text{phi\_n\_array}[n]$$

## 19. A(t) calcule la modulation de fréquence moyenne

$$A(t) = (1/N) \cdot \sum \Delta f(t)$$

## 20. A\_spiral(t) calcule l'amplitude harmonisée en combinant cohérence et modulation de fréquences pour mesurer l'harmonie globale

$$A_{\text{spiral}}(t) = C(t) \cdot A(t)$$

## 21. E(t) mesure l'énergie totale des amplitudes du système (normalisée)

$$E(t) = \sqrt{\sum A^2(t)} / \sqrt{N}$$

## 22. L(t) retourne l'indice de la strate avec la variation d'amplitude maximale

$$L(t) = \operatorname{argmax}|(A(t) - A(t - dt)) / dt|$$

### LA STRUCTURE

Le système est un optimiseur multi-objectifs adaptatif :

- Il reçoit  $I_n(t)$
- Il le transforme en oscillations  $O_n(t)$
- Il évalue sa performance sur  $S(t)$  via 7 métriques
- Il ajuste ses paramètres ( $\gamma$ ,  $G$ ) pour optimiser ces métriques
- Il apprend quelle combinaison ( $\gamma$ ,  $G$ , archétype) donne les meilleurs scores

Comme un orchestre qui :

- Reçoit une partition ( $I_n$ )
- Chaque musicien joue ( $O_n$ )
- Le chef d'orchestre ( $S$ ) écoute
- Il ajuste tempo/nuances ( $\gamma$ ,  $G$ ) selon qualité du son (métriques)

Zoom :

- $A_n$  = enveloppe (modulée en fonction de l'Input)
- $f_{0n}$  = base adaptative (suit  $f_n$  lentement)
- $f_n$  = dynamique (guidée par contrainte  $\varphi$ )

La convergence :

- Régulation : ~500s
- Énergie : ~200s
- Équilibre : ~1000s
- Harmonisation : ~200s

L'harmonie :

- Ratio  $\varphi = 1.618 \pm 0.24\%$
- Progression  $\varphi^n$  vérifiée
- Stable dans le temps
- Homogène dans l'espace

*C'est un système d'optimisation adaptative multi-objectifs sur transformation oscillante, un laboratoire d'auto-organisation distribuée*

## 2. MÉTRIQUES DE PERFORMANCE

Sur  $S(t)$  prior perceptif :

### 1. Coût CPU (cpu\_step) calcule le temps CPU normalisé par pas et par strate

$$\text{cpu\_step} = (\text{end\_time} - \text{start\_time}) \setminus N$$

### 2. L'effort calcule l'effort d'adaptation interne du système

- effort =  $\sum [ |\Delta A| / t(|A| + \varepsilon) + |\Delta f| / (|f| + \varepsilon) + |\Delta \gamma| / (|\gamma| + \varepsilon) ]$

$$\varepsilon = \max(0.001, 0.01 \cdot \text{ref\_scale})$$

$$\text{ref\_scale} = \max(\text{abs}(A_{\square\_ref}), \text{abs}(f_{\square\_ref}), \text{abs}(\gamma_{\text{ref}}))$$

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

$$\text{transitoire} = \text{effort\_t} > \text{mean\_long} + 2 \cdot \text{std\_long}$$
 (pic temporaire)

$$\text{chronique} = \text{mean\_recent} > \text{threshold}$$
 (seuil fixé dans config)

## 3. Fluidité

- variance\_d2S calcule la variance de la dérivée seconde de  $S(t)$ . Faible variance signifie transitions douces

$$dS_dt = \text{gradient}(S_{\text{array}}, dt)$$

$$d2S_dt2 = \text{gradient}(dS_dt, dt)$$

$$\text{variance} = \text{var}(d2S_dt2)$$



- Fluidity applique une sigmoïde inversée sur variance\_d2S pour une sensibilité optimale

$x = \text{variance\_d2S}/\text{reference\_variance}$

$\text{reference\_variance} = 175$

$k = 5$  (sensibilité de la transition)

$\text{fluidity} = 1/(1 + \exp(k \cdot (x - 1)))$

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

$\text{innovation} = \text{clip}(\text{entropy\_normalized}, 0.0, 0.1)$

$\text{entropy\_normalized} = \text{entropy} / \text{max\_entropy}$

$\text{entropy} = \sum(\text{psd\_norm} \cdot \log(\text{psd\_norm}))$

$\text{max\_entropy} = \log(\text{len}(\text{psd\_norm}))$

$\text{psd\_norm} = \text{psd} / \text{psd\_sum}$

$\text{psd\_sum} = \sum(\text{psd})$

$\text{psd} = \text{periodogram}(S_t, \text{sampling\_rate})$

#### **5. Régulation mean\_abs\_error calcule l'erreur absolue moyenne entre attendu et observé $\text{mean}(|E(t) - O(t)|)$**

#### **6. Stabilité max\_median\_ratio calcule le ratio max/médiane du signal $\text{max}(S_{abs}) / \text{median\_val}$ où $\text{median\_val} = \text{median}(S_{abs})$**

#### **7. Resilience se calcule en fonction du type de perturbation au temps $t$ , $t\_retour$ pour perturbations ponctuelles et continuous\_resilience pour perturbations continues**

$t\_retour$  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)

**Résultats préliminaires** : Analyses MI sur 4 scénarios montrent relation non-linéaire In↔On ( $MI=0.47-0.53$  par strate), corrélation In↔S négative (-0.71), confirmant mécanisme de prédiction bayésienne. Score de 4.4/5 sur scores de performance pour N : 150. [détails: GitHub]

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

**Andréa Gadat** - Chercheure indépendante (Exybris). Background en conception systémique et automation créative. Développe la FPS depuis 2024 comme exploration d'architectures harmoniques pour systèmes adaptatifs.

**Exybris** - Harmonious Systems Studio & Incubator

Contacts : contact@exybrisai.com

