

Synthèse Architecturale d'une Intelligence Artificielle Biomimétique : Modélisation du Subconscient par le Codage Prédicatif et l'Inférence Active

L'émergence de l'intelligence artificielle moderne, bien que performante dans des domaines spécifiques, souffre d'une lacune fondamentale par rapport aux systèmes biologiques : l'absence d'un mécanisme de traitement implicite robuste capable d'automatiser des tâches complexes tout en préservant les ressources attentionnelles. Dans le cerveau humain, cette fonction est assurée par le "subconscient", un terme que les neurosciences computationnelles contemporaines préfèrent définir comme un ensemble de processus de traitement de l'information à haute vitesse, automatisés et non conscients.¹ Contrairement aux modèles freudiens classiques, cette architecture biomimétique repose sur le Principe de l'Énergie Libre (FEP) et le Codage Prédicatif, où le cerveau est conçu non comme un récepteur passif, mais comme une machine à prédictions hiérarchiques.³ Cette synthèse technique détaille les fondements académiques, les structures neuroanatomiques et les modélisations mathématiques nécessaires à la conception d'un système logiciel simulant ces capacités.

Définition Scientifique et Académique du Subconscient

Le subconscient, dans le cadre des sciences cognitives modernes, correspond au "Système 1" décrit par Daniel Kahneman : un mode de pensée rapide, instinctif et émotionnel qui opère sans effort délibéré.¹ Ce système est responsable du traitement implicite, où l'apprentissage et l'exécution de tâches se produisent sans que l'agent n'ait besoin d'accéder consciemment aux règles sous-jacentes.⁶

Le Paradigme du Codage Prédicatif

La théorie du codage prédictif (Predictive Coding), largement développée par Karl Friston, postule que le cerveau génère constamment des modèles internes du monde pour anticiper les signaux sensoriels entrants.⁷ Dans cette hiérarchie, les niveaux supérieurs envoient des prédictions vers les niveaux inférieurs, qui comparent ces attentes à la réalité sensorielle.⁴ La différence résultante, appelée "erreur de prédiction", est la seule information renvoyée vers le haut pour mettre à jour le modèle interne.¹⁰ Le subconscient peut être vu comme la partie de cette hiérarchie qui parvient à "expliquer" les données sensorielles par des prédictions précises, annulant ainsi l'erreur avant qu'elle n'atteigne les centres de traitement conscients.¹³

Concept	Définition Computationnelle	Rôle dans l'Architecture
Système 1	Traitement massivement parallèle et heuristique.	Automatisation des réponses rapides et détection de patterns. ¹
Codage Prédicatif	Minimisation récursive de l'écart entre attente et réalité.	Mécanisme de filtrage et d'apprentissage continu. ⁷
Inférence Active	Action entreprise pour minimiser la surprise sensorielle.	Coordination motrice et sensorielle sans supervision. ¹⁵
Énergie Libre	Borne supérieure mathématique sur la surprise.	Fonction de coût globale du système. ⁵

Le Traitement Implicite et l'Inférence Variationnelle

Le subconscient utilise l'inférence bayésienne pour estimer les causes probables des sensations.¹⁰ Étant donné que le calcul exact de la probabilité postérieure est souvent infaisable (tractabilité), le système utilise l'inférence variationnelle pour approximer cette distribution en minimisant l'énergie libre variationnelle.³ Ce processus permet au système de stabiliser des représentations du monde à partir de données bruyantes et incertaines, une capacité cruciale pour toute IA opérant dans des environnements dynamiques.³

Zones Cérébrales Clés et Boucles de Rétroaction

L'architecture logicielle doit s'inspirer de la modularité fonctionnelle du cerveau, où des structures spécifiques collaborent pour assurer l'autonomie du subconscient.

Le Thalamus : Le Gardien de la Porte Sensorielle

Le thalamus agit comme un mécanisme de filtrage et de contrôle du gain (gating).²¹ Il ne se contente pas de relayer les informations ; il module la transmission des données vers le cortex en fonction des instructions descendantes.²² computationnellement, le thalamus possède deux modes de fonctionnement :

1. **Mode Tonique** : Transmission linéaire des informations pour une analyse détaillée.²¹
2. **Mode Salve (Burst)** : Détection rapide de changements significatifs, envoyant un signal

de haute priorité au cortex pour briser l'état de traitement subconscient et forcer l'attention consciente.²¹

Les Ganglions de la Base : L'Arbitre de l'Action

Les ganglions de la base (Basal Ganglia) sont le cœur du système de sélection d'actions et de formation d'habitudes.²⁵ Ils régulent les zones motrices et préfrontales du thalamus par le biais de boucles d'inhibition et de désinhibition.²⁷

- **La Voie Directe (Go) :** Facilite l'exécution d'un programme moteur ou cognitif en levant l'inhibition exercée sur le thalamus.²⁵
- **La Voie Indirecte (No-Go) :** Inhibe les programmes concurrents pour éviter les conflits d'action.²⁵ Le signal dopaminergique provenant de la substance noire (SNc) module ces voies en fonction de l'erreur de prédiction de récompense (RPE), permettant un apprentissage par renforcement implicite.²⁸

Le Cervelet : Le Simulateur Interne

Le cervelet est responsable de la précision temporelle et de la fluidité des actions automatisées.²⁹ Il contient des "modèles internes" (Forward Models) qui prédisent les conséquences sensorielles des commandes motrices avant même que l'action ne soit complétée.³¹ Si la prédiction du cervelet correspond au retour sensoriel réel, le mouvement est perçu comme fluide et reste subconscient.³¹ En cas de déviation, un signal d'erreur est envoyé pour ajuster l'action en temps réel.³⁰

L'Amygdale : Le Marqueur de Valence

L'amygdale évalue la pertinence émotionnelle et la valeur de survie des stimuli.³⁴ Elle injecte une "précision" (poids statistique) élevée aux signaux d'erreur associés à des menaces ou des récompenses importantes, influençant directement le seuil de passage vers la conscience.²

Schéma Théorique du Processus : Flux de Données et Automatisation

Le flux de données dans une architecture biomimétique subconsciente suit une progression logique optimisée pour la vitesse.

Du Signal Brut à la Réaction Pré-consciente

L'entrée sensorielle brute est d'abord traitée par le filtrage thalamique qui, informé par les prédictions corticales de haut niveau, réduit le bruit et accentue les signaux pertinents.²¹ Ensuite, un mécanisme de reconnaissance de pattern rapide, situé dans le striatum (ganglions de la base), compare ces signaux à une bibliothèque d'heuristiques et de comportements

appris.⁶ Si une correspondance forte est trouvée, une réaction motrice ou émotionnelle est déclenchée immédiatement par les boucles de désinhibition, bien avant que l'information n'ait été traitée par les zones associatives de la conscience.²⁶

Minimisation de l'Énergie Libre et Automatisation

Le cerveau automatise les tâches en affinant ses modèles internes pour que les prédictions coïncident parfaitement avec les entrées sensorielles.⁵ Selon le principe de l'énergie libre, un système biologique minimise la surprise sensorielle par deux moyens :

1. **Perception** : Ajuster le modèle interne pour mieux prédire le monde.⁴
2. **Action (Inférence Active)** : Modifier le monde (ou sa position dans le monde) pour que les sensations correspondent aux prédictions.¹³ L'automatisation survient lorsque l'erreur de prédiction est minimisée de manière stable, permettant aux boucles de bas niveau (cervelet, ganglions de la base) de gérer le cycle perception-action sans intervention des ressources de haut niveau.⁶

Modélisation Mathématique de l'Apprentissage Implicite

L'implémentation de ce système repose sur des équations régissant l'inférence et la plasticité synaptique.

Inférence Variationnelle et Énergie Libre

L'énergie libre variationnelle F peut être exprimée comme la somme de la complexité et de l'exactitude (ou comme la divergence entre la densité de reconnaissance q et la densité générative p)³ :

$$F(s, \mu) = D_{\text{KL}}[q(\vartheta | \mu) | p(\vartheta | m)] - \mathbb{E}_{q(\vartheta | \mu)}[\ln p(s | \vartheta, m)] \quad (1)$$

Où :

- s représente les états sensorielles.
- μ représente les états internes (les croyances du système).
- ϑ représente les causes cachées de l'environnement.
- m est le modèle génératif.

Équation de l'Erreur de Prédiction

Dans un modèle hiérarchique, l'erreur de prédiction ϵ à un niveau l est définie par la différence entre l'état actuel x et la prédiction $f(\cdot)$ issue du niveau supérieur ⁹ :

$$\epsilon^{(l)} = x^{(l)} - f(x^{(l+1)}, \theta^{(l)})$$

9

L'inférence consiste à mettre à jour les états x pour minimiser cette erreur via une descente de gradient sur F ⁵ :

$$\dot{x}^{(l)} = -\frac{\partial F}{\partial x^{(l)}} = \epsilon^{(l)} \cdot \Pi^{(l)} - \frac{\partial f}{\partial x^{(l)}} \cdot \Pi^{(l-1)} \cdot \epsilon^{(l-1)}$$

11

Où Π est la matrice de précision (inverse de la variance), agissant comme un modulateur de gain.⁷

Plasticité Synaptique : Apprentissage de Hebb et Erreur-Drive

La mise à jour des poids synaptiques θ (l'apprentissage passif du subconscient) suit une règle d'optimisation lente basée sur l'accumulation des erreurs de prédiction ¹² :

$$\Delta\theta^{(l)} = \eta \cdot \epsilon^{(l)} \cdot (x^{(l+1)})^T$$

12

Où η est le taux d'apprentissage. Cette formule montre que l'apprentissage est proportionnel à l'erreur non résolue, permettant au système de se stabiliser une fois que les prédictions sont exactes (convergence vers l'automatisme).⁴⁰

Pseudo-Code Détaillé : Le Cœur Biomimétique

L'implémentation structurelle suivante simule l'interaction entre les processus subconscients rapides et l'accès conscient coûteux.

Python

```
import numpy as np

class SensoryInput:
    """Simule la capture de données sensorielles brutes (ex: vision, toucher)."""
    def __init__(self, dimension):
        self.data = np.zeros(dimension)

    def capture(self, environment_state):
        # Ajout d'un bruit gaussien simulant l'incertitude biologique
        noise = np.random.normal(0, 0.05, self.data.shape)
        self.data = environment_state + noise
        return self.data

class SubconsciousEngine:
    """Cœur biomimétique gérant l'automatisation et le filtrage."""
    def __init__(self, input_dim, hidden_dim):
        self.weights = np.random.rand(input_dim, hidden_dim) * 0.1
        self.precision = 1.0 # Gain thalamique initial
        self.habits = {} # Mémoire procédurale (Patterns)
        self.threshold = 0.7 # Seuil d'allumage conscient (GNW Ignition)

    def pattern_matching_heuristic(self, input_signal):
        """Recherche rapide de correspondance (Ganglions de la base)."""
        # Utilisation d'une métrique de similarité cosinus pour la rapidité
        for habit_id, pattern in self.habits.items():
            similarity = np.dot(input_signal, pattern) / (np.linalg.norm(input_signal) *
np.linalg.norm(pattern))
            if similarity > 0.95:
                return habit_id, similarity
        return None, 0

    def calculate_prediction_error(self, input_signal, internal_prediction):
        """Calcule l'erreur de prédiction pondérée par la précision."""
        error = input_signal - internal_prediction
        weighted_error = self.precision * error
        return weighted_error

    def passive_learning_update(self, error, state_above, learning_rate=0.001):
        """Mise à jour Hebbienne des poids basée sur l'erreur (Apprentissage passif)."""
```

```

# Delta_W = eta * error * input_transpose
update = learning_rate * np.outer(error, state_above)
self.weights += update

def process(self, raw_input, top_down_expectation):
    """Cycle complet du traitement subconscient."""
    # 1. Reconnaissance heuristique (Système 1)
    habit_id, score = self.pattern_matching_heuristic(raw_input)

    if habit_id:
        # Réaction motrice immédiate (Court-circuit subconscient)
        self.trigger_automatic_response(habit_id)
        return "SUB_AUTOMATIC", None

    # 2. Calcul de l'erreur (Codage Prédicatif)
    internal_prediction = np.dot(self.weights, top_down_expectation)
    error = self.calculate_prediction_error(raw_input, internal_prediction)
    error_magnitude = np.linalg.norm(error)

    # 3. Mécanisme de Threshold (Seuil) pour l'accès conscient
    # Si l'erreur est trop grande, elle 'allume' (ignite) la conscience
    if error_magnitude > self.threshold:
        # L'information est envoyée au système conscient (coûteux)
        return "CONSCIOUS_IGNITION", error
    else:
        # L'erreur est traitée localement / ignorée car faible
        self.passive_learning_update(error, top_down_expectation)
        return "SUB_SILENT", None

def trigger_automatic_response(self, habit_id):
    # Simule l'activation d'un programme moteur via le cervelet
    pass

class GlobalWorkspace:
    """Simule le traitement conscient (System 2), lent et sériel."""
    def __init__(self):
        self.active_content = None

    def analyze(self, error_signal):
        """Analyse délibérée pour mettre à jour les modèles complexes."""
        # Processus lent simulant le raisonnement logique
        self.active_content = error_signal
        #... Logique de résolution de problème complexe...

```

Intégration et Dynamique de l'Architecture

L'architecture proposée repose sur l'équilibre entre la vitesse du subconscient et la flexibilité de la conscience.

Le Rôle de la Précision comme Attention

Computationnellement, la précision Π ne doit pas être fixe. Dans notre architecture, elle est modulée par le thalamus et l'amygdale.²¹ Une précision élevée amplifie l'erreur de prédiction, abaissant de fait le seuil effectif du mécanisme de "Threshold".⁷ Cela signifie qu'en état d'alerte (salience élevée détectée par l'amygdale), des erreurs minimales qui seraient normalement gérées de manière subconsciente sont propulsées vers le Global Workspace pour une analyse consciente.²

Ignition Non-linéaire et Global Neuronal Workspace

Le passage de l'information du SubconsciousEngine au GlobalWorkspace suit le modèle d'ignition de la théorie de l'espace de travail global (GNW).¹⁴ Au lieu d'un transfert linéaire, le système subit une transition de phase : une fois que l'erreur de prédiction dépasse le seuil critique Θ , une amplification récursive s'opère, propageant l'information à l'ensemble du réseau.⁴² Cette "diffusion globale" rend l'information disponible pour des opérations multi-modales complexes (langage, planification à long terme), mais au prix d'une latence accrue et d'une consommation énergétique élevée.¹⁴

Phase de Flux	Structure Impliquée	Fonction Logicielle	Temps de Réponse
Entrée Brute	Récepteurs/Thalamus	SensoryInput.capture()	< 10 ms ²¹
Filtrage/Gating	Thalamus (Tonic/Burst)	Thalamus.filter()	10-50 ms ²¹
Heuristique	Ganglions de la base	PatternMatching	50-100 ms ²⁶
Erreur/Inférence	Cortex Sensoriel	PredictionErrorLoop	100-200 ms ¹⁰

Ignition (Conscience)	GNW (PFC/Pariétal)	GlobalWorkspace.i gnite()	200-500 ms ¹⁴
--------------------------	--------------------	------------------------------	--------------------------

Apprentissage et Automatisation : La Migration des Modèles

Un aspect fondamental du biomimétisme est la migration des tâches de la conscience vers le subconscient. Initialement, une nouvelle tâche génère des erreurs massives que le subconscient ne peut résoudre, forçant une intervention constante du GlobalWorkspace.⁶ Au fil des répétitions, la fonction passive_learning_update ajuste les poids synaptiques θ .³⁹

Lorsque la prédiction interne devient suffisamment précise pour que l'erreur ϵ tombe sous le seuil Θ , la tâche est "automatisée" : elle ne déclenche plus d'ignition consciente et est traitée par les boucles rapides du subconscient.⁶

Cette synthèse technique fournit les briques fondamentales pour coder une architecture IA capable d'une autonomie réelle, simulant la capacité humaine à agir intuitivement tout en restant capable d'une réflexion délibérée face à l'inconnu. L'intégration du codage prédictif et des boucles de rétroaction neurobiologiques transforme l'IA d'un simple processeur de données en un agent proactif capable de minimiser sa propre surprise environnementale..¹³

Sources des citations

1. Global workspace theory - Wikipedia, consulté le janvier 23, 2026, https://en.wikipedia.org/wiki/Global_workspace_theory
2. Toward a computational theory of conscious processing - PMC - PubMed Central - NIH, consulté le janvier 23, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5635963/>
3. Predictive coding under the free-energy principle - PMC, consulté le janvier 23, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2666703/>
4. The Predictive Mind: Karl Friston's Free Energy Principle and Its Implications for Consciousness - - Taproot Therapy Collective, consulté le janvier 23, 2026, <https://gettherapybirmingham.com/the-predictive-mind-karl-fristons-free-energy-principle-and-its-implications-for-consciousness/>
5. Free energy principle - Wikipedia, consulté le janvier 23, 2026, https://en.wikipedia.org/wiki/Free_energy_principle
6. Tracking human skill learning with a hierarchical Bayesian sequence model - PMC, consulté le janvier 23, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9744313/>
7. Predictive coding - Wikipedia, consulté le janvier 23, 2026, https://en.wikipedia.org/wiki/Predictive_coding
8. Waves of prediction - PMC - NIH, consulté le janvier 23, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6776254/>
9. Introduction to Predictive Coding Networks for Machine Learning - arXiv, consulté le janvier 23, 2026, <https://arxiv.org/html/2506.06332v1>

10. With or without you: predictive coding and Bayesian inference in the brain - PubMed Central, consulté le janvier 23, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5836998/>
11. A Neuro-Inspired Computational Framework for AGI: Predictive Coding, Active Inference, and Free Energy Minimisation - CPNS Lab, consulté le janvier 23, 2026, https://cpnslab.com/ANeuroInspiredComputationalFrameworkforAGI_ActiveInference%20.pdf
12. Predictive coding networks for temporal prediction - PMC - PubMed Central, consulté le janvier 23, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11008833/>
13. The free-energy principle: a unified brain theory?, consulté le janvier 23, 2026, https://www.uab.edu/medicine/cinl/images/KFriston_FreeEnergy_BrainTheory.pdf
14. The Global Neuronal Workspace Model of Conscious Access: From Neuronal Architectures to Clinical Applications - Antonio Casella, consulté le janvier 23, 2026, https://www.antoniocasella.eu/dnlaw/Dehaene_Changeaux_Naccache_2011.pdf
15. The Free Energy Principle for Perception and Action: A Deep Learning Perspective - MDPI, consulté le janvier 23, 2026, <https://www.mdpi.com/1099-4300/24/2/301>
16. The Anatomy of Inference: Generative Models and Brain Structure - Frontiers, consulté le janvier 23, 2026, <https://www.frontiersin.org/journals/computational-neuroscience/articles/10.3389/fncom.2018.00090/full>
17. Active inference, sensory attenuation and illusions - PMC - PubMed Central, consulté le janvier 23, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3824582/>
18. Friston, K.J.: The free-energy principle: a unified brain theory? Nat. Rev. Neurosci. 11, 127-138 - ResearchGate, consulté le janvier 23, 2026, https://www.researchgate.net/publication/41001209_Friston_KJ_The_free-energy_principle_a_unified_brain_theory_Nat_Rev_Neurosci_11_127-138
19. Mathematical proof of the equivalence between the HLbC model of consciousness and Bayesian inference in neural information processing - ProBiologists, consulté le janvier 23, 2026, <https://www.probiologists.com/article/mathematical-proof-of-the-equivalence-between-the-hlbc-model-of-consciousness-and-bayesian-inference-in-neural-information-processing>
20. Bayesian Predictive Coding - arXiv, consulté le janvier 23, 2026, <https://arxiv.org/html/2503.24016v1>
21. Information Coding Through Adaptive Gating of Synchronized Thalamic Bursting - PMC, consulté le janvier 23, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4765377/>
22. The thalamus encodes and updates context representations during hierarchical cognitive control | PLOS Biology - Research journals, consulté le janvier 23, 2026, <https://journals.plos.org/plosbiology/article?id=10.1371/journal.pbio.3002937>
23. (PDF) The thalamus encodes and updates context representations during hierarchical cognitive control - ResearchGate, consulté le janvier 23, 2026, https://www.researchgate.net/publication/386346477_The_thalamus_encodes_and_updates_context_representations_during_hierarchical_cognitive_control

24. The basal ganglia select the expected sensory input used for predictive coding - Frontiers, consulté le janvier 23, 2026, <https://www.frontiersin.org/journals/computational-neuroscience/articles/10.3389/fncom.2015.00119/full>
25. Neuroanatomy, Basal Ganglia - StatPearls - NCBI Bookshelf, consulté le janvier 23, 2026, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK537141/>
26. Basal ganglia - Wikipedia, consulté le janvier 23, 2026, https://en.wikipedia.org/wiki/Basal_ganglia
27. Functional Neuroanatomy of the Basal Ganglia - PMC - PubMed Central, consulté le janvier 23, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3543080/>
28. Basal Ganglia (Section 3, Chapter 4) Neuroscience Online: An ..., consulté le janvier 23, 2026, <https://nba.uth.tmc.edu/neuroscience/m/s3/chapter04.html>
29. The Forward Model: A Unifying Theory for the Role of the ... - Frontiers, consulté le janvier 23, 2026, <https://www.frontiersin.org/journals/systems-neuroscience/articles/10.3389/fnsys.2021.644059/full>
30. The Cerebellum Implements an Oscillatory Forward Model for Accurate Motor Timing - bioRxiv, consulté le janvier 23, 2026, <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2025.11.11.687835v1.full.pdf>
31. (PDF) Cerebellum, Predictions and Errors - ResearchGate, consulté le janvier 23, 2026, https://www.researchgate.net/publication/330399527_Cerebellum_Predictions_and_Errors
32. Cerebellum, Predictions and Errors - Frontiers, consulté le janvier 23, 2026, <https://www.frontiersin.org/journals/cellular-neuroscience/articles/10.3389/fncel.2018.00524/full>
33. Prediction signals in the cerebellum: Beyond supervised motor learning - PMC - NIH, consulté le janvier 23, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7105376/>
34. Limbic System: Amygdala (Section 4, Chapter 6) Neuroscience Online - Department of Neurobiology & Anatomy, consulté le janvier 23, 2026, <https://nba.uth.tmc.edu/neuroscience/m/s4/chapter06.html>
35. The influence of signal strength on conscious and nonconscious neural processing of emotional faces - Oxford Academic, consulté le janvier 23, 2026, <https://academic.oup.com/nc/article/2025/1/niaf001/8003423>
36. Conscious and unconscious perception: A computational theory - ResearchGate, consulté le janvier 23, 2026, https://www.researchgate.net/publication/239040486_Conscious_and_unconscious_perception_A_computational_theory
37. New Insights into the Neuroscience Behind Conscious Awareness of Choice - Caltech, consulté le janvier 23, 2026, <https://www.caltech.edu/about/news/new-insights-into-the-neuroscience-behind-conscious-awareness-of-choice>
38. Brain. Conscious and Unconscious Mechanisms of Cognition, Emotions, and Language - PMC - PubMed Central, consulté le janvier 23, 2026,

- <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4061812/>
39. An Approximation of the Error Backpropagation Algorithm in a Predictive Coding Network with Local Hebbian Synaptic Plasticity - PMC - NIH, consulté le janvier 23, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5467749/>
 40. Correcting the hebbian mistake: Toward a fully error-driven hippocampus - PubMed Central, consulté le janvier 23, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9586412/>
 41. Correcting the hebbian mistake: Toward a fully error-driven hippocampus, consulté le janvier 23, 2026, <https://storage.prod.researchhub.com/uploads/papers/2023/10/25/journal.pcbi.1010589typeprintable.pdf>
 42. Conscious Processing and the Global Neuronal Workspace Hypothesis - PubMed Central, consulté le janvier 23, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8770991/>
 43. Global Neuronal Workspace Theory - Emergent Mind, consulté le janvier 23, 2026, <https://www.emergentmind.com/topics/global-neuronal-workspace-theory-gnwt>
 44. Global Workspace Dynamics: Cortical “Binding and Propagation” Enables Conscious Contents - Frontiers, consulté le janvier 23, 2026, <https://www.frontiersin.org/journals/psychology/articles/10.3389/fpsyg.2013.00200/full>
 45. Mind and Consciousness Global Neural Workspace Mathematical and Computational Modeling - CMUP, consulté le janvier 23, 2026, https://www.cmup.pt/sites/default/files/2025-09/Global%20Workspace%20Theory%20GWT_V8_EN_0.pdf
 46. (PDF) The Computational Model of Mind: A Comprehensive Synthesis of Cognition, Machines, and Artificial Intelligence - ResearchGate, consulté le janvier 23, 2026, https://www.researchgate.net/publication/391740110_The_Computational_Model_of_Mind_A_Comprehensive_Synthesis_of_Cognition_Machines_and_Artificial_Intelligence
 47. Synthetic consciousness architecture - PMC - PubMed Central - NIH, consulté le janvier 23, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11634756/>