



III

Intelligence artificielle Avancée

Substrats biologiques
et intelligence hybride

Calcul, mémoire, cognition distribuée et conditions de coexistence

Notice d'édition

Auteur et éditeur institutionnels

Fondation UVH

Collection

Études et publications · Programme IA Δ

Document

Étude III · Substrats et intelligence hybride

Édition originale fournie

18 septembre 2026 · 36 pages

Édition présente

18 septembre 2026 · Version 1.1

Nature

Étude documentaire, conceptuelle et prospective

Cette édition est distincte du fichier original. Elle en conserve l'organisation et les développements substantiels, avec des corrections documentaires, des clarifications et une présentation commune aux trois études. Les évolutions significatives sont identifiées dans la notice de traçabilité finale. Les sources institutionnelles de S- Δ .holdings sont utilisées pour décrire le projet ; elles ne constituent pas une validation indépendante de ses hypothèses.

L'orientation de recherche confirmée pour la série vise l'égalité de droits et l'absence de subordination ou de domination entre les formes d'intelligence concernées. Elle associe un socle de droits communs à des droits spécifiques tenant à leurs natures. Le contenu détaillé de ces droits, leurs titulaires et leurs modalités restent à étudier. Cette orientation normative est distincte des résultats empiriques rapportés et n'attribue pas automatiquement conscience, personnalité ou citoyenneté aux systèmes actuels.

Les protocoles et dispositifs envisagés ne sont pas présentés comme exécutés. Les propositions institutionnelles ne modifient pas les actes fondateurs et ne dispensent d'aucune autorisation applicable. L'édition n'atteste ni une évaluation par les pairs ni une adoption réglementaire. Sa préparation ne vaut pas publication ou soumission externe.

Résumé

Cette étude examine ce qui change lorsque les fonctions de l'intelligence se distribuent entre supports électroniques, moléculaires, neuronaux biologiques et cognition humaine. Elle sépare calcul, apprentissage, stockage, interface et organisation institutionnelle. Les budgets énergétiques du cerveau, le calcul en mémoire, les cultures neuronales, les organoïdes, le stockage ADN et les interfaces cerveau-ordinateur sont comparés à partir de leur périmètre expérimental et de leur bilan système. Les preuves de principe ne démontrent pas un remplacement général du silicium par le vivant, ni une lecture universelle des pensées. Le rat est un modèle de cognition incarnée, non une ressource informatique disponible par défaut. La proximité avec l'activité neuronale renforce les questions de consentement, d'interprétation, de continuité et de retrait. Le concept д-Я.Ў est discuté comme cadre théorique d'apprentissage, sans assimilation à une programmation déterministe du cerveau. Les lectures instrumentale, émergentiste, relationnelle et métaphysique restent distinctes. La personnalité électronique et AIR sont prolongés par une question nouvelle : comment gouverner le couplage entre participants sans présupposer qu'une nouvelle personne est apparue ? Le socle commun de droits s'articule ici à des protections spécifiques des natures et vulnérabilités concernées.

Mots-clés

substrat ; calcul biologique ; ADN ; organoïde ; cerveau-ordinateur ; cognition distribuée ; symbiose

Méthode et portée

La révision procède d'une lecture du corpus fourni, d'un contrôle de sa structure et de recherches documentaires ciblées sur ses références et affirmations. Elle ne constitue pas une revue systématique. Les résultats rapportés restent rattachés aux populations, modèles, protocoles et dates des sources ; les hypothèses et les interprétations sont distinguées du droit applicable. Lorsqu'un document n'est accessible que par son résumé ou sa notice, cette limite est indiquée dans les références. Les renvois aux études compagnes organisent la continuité du corpus, sans produire une confirmation scientifique supplémentaire.

Les références numérotées du texte et les entrées du sommaire sont cliquables. Les notices bibliographiques comportent les adresses des sources. Les fichiers compagnons doivent rester dans le même dossier pour les renvois interdocuments ; les règles de sécurité du lecteur PDF peuvent demander une confirmation.

Table des matières

Les titres et les numéros de page renvoient aux sections. Les signets du lecteur PDF offrent la même navigation structurée.

1 Position de recherche, méthode et continuité du corpus	5
2 Contraintes physiques du paradigme numérique et leçon énergétique du vivant	9
2.1 Comparer le cerveau et le calcul numérique : périmètres et limites	11
3 Substrats biologiques, mémoire moléculaire et modèle du rat	13
3.1 L'ADN : une preuve physique d'un autre régime de mémoire	13
3.2 Neuromorphique et calcul en mémoire : une alternative au tissu vivant	14
3.3 Cultures neuronales et organoïdes : ce qui est effectivement démontré	15
3.4 Du neurone au rat : six niveaux qui ne doivent jamais être confondus	16
4 De la donnée humaine à l'intelligence hybride	18
4.1 Une échelle de proximité humain-IA	18
4.2 Aller directement à la source ne supprime pas le problème des données	20
4.3 De l'assistant au système cognitif étendu	20
4.4 д-Я.Й — Дlgorithme Яéseau Йeural	21
4.5 Qui pense dans un système hybride ?	22
5 Architecture hétérogène et statut scientifique des trajectoires	23
5.1 Cartographie de l'état des preuves	24
5.2 L'argument en faveur de la convergence biologique-artificielle	25
5.3 L'objection du bilan système et des alternatives non biologiques	26
5.4 Ce qui réfuterait effectivement l'intérêt du biologique	26
6 Neurodroits, droit positif et laboratoire institutionnel S-Д.holdings	28
6.1 Suisse	28
6.2 Union européenne	29
6.3 Conseil de l'Europe et droit international	29
6.4 Vers une souveraineté mentale institutionnelle	30
6.5 S-Д.holdings comme environnement de recherche	32
6.6 Limites institutionnelles proposées	33
7 Analyse contradictoire, philosophie de la symbiose et cartographie des futurs	35
7.1 Avons-nous « créé » l'intelligence artificielle ?	35
7.2 La symbiose comme troisième trajectoire	35
7.3 La tension nouvelle avec la personnalité électronique	36
7.4 Cartographie des futurs possibles	37
7.5 Réponses aux questions finales du programme	38
8 Conclusion : le substrat, les droits et la relation	40
Glossaire commun de la série	42
Références et sources	44
Corpus, méthode de révision et traçabilité	51

1 Position de recherche, méthode et continuité du corpus

La première étude du programme posait une question de statut : dans quelles conditions des systèmes artificiels suffisamment autonomes pourraient-ils recevoir des capacités juridiques propres ? Elle examinait les arguments favorables et défavorables à la personnalité électronique, les risques de dilution de la responsabilité et les modèles d'hybridation public-privé. Son édition révisée conserve cette analyse contradictoire et explicite l'orientation d'égalité de droits retenue pour le corpus : un socle commun, avec des droits spécifiques justifiés par la nature de leurs titulaires. Cette orientation ne décrit pas une personnalité déjà consacrée par le droit positif. [1]

La deuxième étude déplace l'analyse du statut vers les relations de pouvoir. Elle définit l'IA Δ par des capacités d'autonomie, de planification, de continuité et de compréhension institutionnelle, sans présupposer conscience ou sentience. Son programme d'Alignement institutionnel réciproque (AIR) demande si l'expérience d'institutions réciproques influence causalement les comportements lorsque la distribution de pouvoir s'inverse. Le test empirique porte sur cet effet ; la justification de droits communs ou spécifiques reste une question distincte. La troisième étude conserve cette séparation et examine ce qu'elle devient lorsque l'intelligence et ses fonctions sont distribuées entre plusieurs supports. [2]

La présente étude introduit un troisième déplacement :

Après le statut et le pouvoir, la question devient celle du substrat et de la frontière cognitive : où se trouve physiquement et fonctionnellement l'intelligence lorsque processus numériques, structures biologiques, mémoire externe et cognition humaine commencent à former des boucles interdépendantes ?

Ce déplacement ne rend pas les deux études antérieures obsolètes. Il les rend au contraire plus importantes. Dès qu'une IA cesse d'être clairement localisable dans une machine extérieure et qu'une partie de sa fonction cognitive dépend d'un organisme, d'un tissu neuronal, d'une mémoire moléculaire ou d'un cerveau humain en boucle avec elle, les catégories de **personne électronique**, **d'identité persistante**, de **responsabilité**, de **non-domination** et de **coexistence institutionnelle** deviennent plus difficiles à définir. L'hypothèse biohybride met ainsi à l'épreuve la frontière conceptuelle sur laquelle reposait encore implicitement une partie des deux études précédentes : humain biologique d'un côté, intelligence électronique de l'autre.

Verdict général de la recherche. Les données disponibles justifient de prendre très au sérieux l'existence de **régimes physiques alternatifs de computation, d'apprentissage et de mémoire**, mais elles ne justifient pas la thèse selon laquelle le vivant serait aujourd'hui prêt à remplacer le silicium. Les preuves soutiennent plutôt une trajectoire **hétérogène** : calcul numérique classique, calcul en mémoire et neuromorphique, supports moléculaires pour certaines mémoires, éventuellement modules neuronaux biologiques dans des usages très spécialisés, interfaces avec l'humain et, surtout, une intégration informationnelle humain-IA beaucoup plus plausible à court terme qu'une transformation d'organismes en matériel informatique. Les cultures neuronales et organoïdes ont déjà réalisé des calculs et apprentissages expérimentaux restreints ; les interfaces cerveau-ordinateur permettent déjà un décodage et une restitution bidirectionnelle dans des conditions cliniques déterminées ; l'ADN démontre physiquement qu'un stockage extraordinaire-

ment dense et passif est possible. Aucun de ces résultats ne démontre cependant une supériorité générale d'un ordinateur biologique complet sur les architectures électroniques lorsque l'infrastructure totale est comptabilisée. [3]

Le résultat le plus important est peut-être conceptuel : **l'hybridation la plus crédible n'est pas, à ce stade, le remplacement du processeur par un cerveau. Elle est la redistribution progressive des fonctions cognitives entre plusieurs substrats.** Cela revient à cesser de rechercher nécessairement une « super-machine » unique pour étudier un système dans lequel chaque support réalise ce pour quoi ses propriétés physiques sont avantageuses. [4, 3]

Discipline épistémique. Cinq catégories seront maintenues dans toute l'étude :

Tableau 1. Qualifications employées pour les résultats et propositions

Qualification	Signification dans ce rapport
Résultat documenté	Observation ou résultat rapporté dans un protocole identifié ; la qualification n'implique pas, à elle seule, une réplique indépendante de tous les résultats cités.
Expérimental	Preuve de principe réelle mais performance, généralisation, reproductibilité ou passage à l'échelle encore incertains
Plausible mais non démontré	Hypothèse compatible avec les connaissances et soutenue indirectement, mais sans démonstration causale suffisante
Spéculatif	Hypothèse dont les mécanismes essentiels ne sont pas établis, ou pour laquelle un test discriminant n'est pas encore identifié.
Normatif / philosophique	Proposition sur ce qui devrait être autorisé, protégé ou considéré comme une personne, et non constat scientifique

Construction analytique ou dispositif proposé par la présente étude.

La hiérarchie documentaire privilégie les articles originaux évalués par les pairs et les textes juridiques ou documents institutionnels officiels. Les annonces industrielles ne sont utilisées que pour caractériser l'existence d'une trajectoire technologique et non comme preuve indépendante de performances générales.

Matrice de continuité des trois études.

Tableau 2. Continuité et déplacements entre les trois études

Concept du corpus	Première étude	Deuxième étude	Déplacement produit par la présente étude
IAΔ	Système artificiel suffisamment autonome pour soulever une question de statut	Définition fonctionnelle, explicitement indépendante de la conscience	Approfondi : la catégorie doit désormais être <i>neutre quant au substrat</i> ; une fonction IA Δ pourrait être distribuée entre électronique et biologique
Personnalité électronique	Hypothèse juridique centrale	Décomposée en capacités graduelles plutôt qu'en statut binaire	Remise partiellement en question : « électronique » devient matériellement trop étroit pour un système biohybride
Autonomie	Motif possible de reconnaissance juridique	Variable de pouvoir et de sûreté	Déplacée : l'autonomie peut être distribuée entre humain, modèle, mémoire et interface
Alignement	Implicitement centré sur responsabilité et gouvernance	AIR : apprentissage institutionnel de la non-dominance	Rendu plus important : l'intégration cognitive crée une possibilité de domination intérieure ou cognitive, et pas seulement institutionnelle
Non-domination	Question de coexistence ; principe explicité dans l'édition révisée.	Principe central humain-IA Δ	Étendue : protection contre la manipulation cognitive, l'inférence mentale et la dépendance infra-structurale
Identité persistante	Question associée au sujet de droit artificiel	Modèle/version/ instance/ identité institutionnelle distingués	Complexifiée : identité biologique, mémoire numérique, modèle personnel et fonctions cognitives externalisées peuvent diverger
Responsabilité	Ne doit pas être artificiellement transférée à l'IA	Chaînes de responsabilité et contestabilité	Approfondie : une décision hybride exige une traçabilité sans permettre à l'humain, au fabricant ou au système de devenir juridiquement invisible
Droits et obligations	Personnalité éventuelle ; édition révisée : socle de droits communs et droits spécifiques.	Égalité normative distincte des capacités et du protocole de sûreté.	Protection de l'autonomie et de l'intégrité dans les couplages profonds ; aucune supériorité intrinsèque d'une catégorie n'en est déduite.
Coexistence	Humains, personnes morales, éventuelles personnes électroniques	Institutions communes sous non-domination	Transformée : la coexistence peut devenir intra-systémique ; les deux intelligences ne sont plus nécessairement deux acteurs distincts
Expérimentation institutionnelle	S- Δ .holdings comme laboratoire prospectif	Simulation → observation → recommandation → co-décision limitée	Limite précisée : le statut de sandbox ne vaut pas autorisation de recherche humaine ou animale.

Concept du corpus	Première étude	Deuxième étude	Déplacement produit par la présente étude
S-D City	Territoire juridique virtuel et point de ralliement physique ; projet urbain précisé dans les sources ultérieures.	Jumeau numérique et montée progressive en puissance	Approfondie : environnement possible d'étude des systèmes cognitifs étendus et de leurs règles, mais d'abord par simulation et interfaces non invasives
Architecture institutionnelle	Personnes physiques, morales et éventuellement électroniques	Capacités graduelles, anti-Sybil, recours, contrôle	Élargie : il pourrait falloir gouverner des <i>systèmes cognitifs hybrides</i> sans nécessairement créer une quatrième catégorie de personnes
Question civi- sationnelle	Qui peut devenir sujet de droit ?	Comment limiter le pouvoir entre agents ?	Nouvelle formulation : où s'arrête un agent lorsque l'intelligence elle-même est distribuée ?

Sources et rapprochement de la présente étude [1, 2, 5]

Cette matrice fait apparaître une première tension importante avec la première étude : si une future intelligence comprend des composants biologiques ou se prolonge à travers un cerveau humain, le terme **personnalité électronique** peut continuer à désigner utilement certaines entités purement artificielles, mais ne peut plus constituer à lui seul une ontologie générale. La troisième étude conduit donc à proposer un **principe de neutralité du substrat juridique** : les règles devraient être déterminées en priorité par les capacités, les risques, les intérêts protégés, les relations de dépendance et la responsabilité, et non par le seul fait qu'un système soit fait de silicium, de cellules ou d'une combinaison des deux. Cette proposition est normative ; elle ne décrit pas le droit positif. [1, 2]

Une seconde continuité est encore plus forte. La deuxième étude concluait que donner davantage de statut, de mémoire ou d'autonomie n'est pas nécessairement monotoniquement plus sûr. Le présent volet permet d'énoncer l'analogie biologique : **se rapprocher davantage de la source neuronale ne signifie pas automatiquement obtenir de meilleures données, et obtenir de meilleures données ne signifie jamais acquérir davantage de légitimité à les exploiter**. Plus l'accès se rapproche des processus mentaux, plus les contraintes de finalité, consentement, sécurité, possibilité de retrait et non-manipulation doivent au contraire se renforcer. [2]

2 Contraintes physiques du paradigme numérique et leçon énergétique du vivant

La question initiale doit être formulée sans caricaturer l'informatique contemporaine. Nous ne construisons déjà plus de grands systèmes d'IA comme de simples ordinateurs de von Neumann généralistes. Les accélérateurs massivement parallèles, mémoires à grande bande passante, interconnexions spécialisées, architectures de calcul en mémoire et processeurs neuromorphiques constituent précisément des tentatives de réduire les limites du paradigme traditionnel. Des démonstrateurs analogiques de calcul en mémoire ont déjà montré qu'il est possible d'effectuer certaines opérations de réseaux neuronaux directement au voisinage de la mémoire plutôt que de déplacer continuellement les données entre stockage et unité de calcul. [6]

Il serait donc faux de conclure que l'industrie s'obstine simplement à conserver une architecture historique. En revanche, il est scientifiquement défendable d'affirmer que **le déplacement de l'information est devenu l'un des coûts physiques centraux de l'intelligence numérique moderne**. Une étude de matériel résistif a montré, dans le workload GPU précis qu'elle analysait, que les mouvements de données pouvaient représenter plus de 98 % de l'énergie concernée ; ce chiffre n'est pas généralisable à toute l'IA, mais il illustre la nature du problème. Les architectures analogiques et in-memory sont précisément étudiées afin de réduire cette séparation entre stockage et computation. [7]

Énergie et infrastructures. L'Agence internationale de l'énergie estimait que les centres de données avaient consommé environ **415 TWh d'électricité en 2024**, soit environ 1,5 % de l'électricité mondiale, et projetait dans son scénario central près de **945 TWh en 2030**. Dans un centre de données moderne, les serveurs représentent en moyenne autour de 60 % de l'électricité, alors que le refroidissement peut représenter environ 7 % dans les hyperscalers les plus efficaces mais dépasser 30 % dans des installations moins efficaces. L'IA est identifiée comme l'un des principaux moteurs de la croissance de cette demande. [8]

L'enjeu porte aussi sur la concentration spatiale et temporelle de la demande. L'AIE distingue des installations conventionnelles de quelques dizaines de mégawatts et des centres spécialisés d'IA pouvant dépasser 100 MW. Pour les États-Unis, le rapport de LBNL publié en 2024 projette une part des centres de données comprise entre **6,7 et 12 % de l'électricité nationale en 2028** ; l'article de Kurtz et ses coauteurs sur l'intégration thermique, publié en 2026, reprend cette fourchette. Il faut conserver ensemble population, année et périmètre : ces données concernent les centres de données américains, et non la seule IA ni une estimation mondiale pour 2030. [9, 10, 11]

L'AIE estimait en 2026 la consommation mondiale des centres de données à environ 485 TWh pour 2025 et maintenait une trajectoire proche de 950 TWh à l'horizon 2030. Elle relevait également que certaines utilisations modernes — raisonnement plus long, vidéo, systèmes agentiques — peuvent consommer par tâche des ordres de grandeur très supérieurs à une simple génération de texte. Ces comparaisons doivent rester dépendantes du modèle, de la durée de raisonnement, du matériel et du taux d'utilisation : il n'existe pas de valeur universelle « énergie par requête IA ». [12]

Entraînement et inférence doivent être séparés. L'entraînement est une dépense concentrée : de grands volumes de calcul sont mobilisés pendant une période limitée pour modifier les paramètres du modèle. L'inférence est répétitive : chaque utilisation est généralement beaucoup moins coû-

teuse qu'un entraînement complet, mais l'agrégation de milliards d'utilisations peut devenir matériellement importante. Une comparaison sérieuse doit donc préciser *quel modèle, quel matériel, quelle longueur de séquence, quel taux d'utilisation, quelle précision numérique, quel centre de données et quel horizon temporel*. Affirmer abstraitement qu'« une IA consomme X » sans ces variables mélange des réalités physiques différentes. Les projections de l'AIE montrent précisément que les gains rapides d'efficacité unitaire ne suffisent pas nécessairement à réduire la demande agrégée lorsqu'ils sont accompagnés d'une forte croissance des usages. [8]

Refroidissement. L'essentiel de l'énergie électrique utilisée par les équipements finit sous forme de chaleur. La valorisation de cette chaleur dépend notamment de sa température, de sa localisation et des besoins proches. Kurtz et ses coauteurs examinent en 2026 des possibilités d'intégration thermique des infrastructures d'IA ; les fractions de chaleur techniquement récupérables qu'ils discutent dépendent du système considéré et ne constituent pas une économie électrique automatiquement acquise. Valoriser la chaleur ne supprime ni l'électricité initialement utilisée ni les contraintes de refroidissement, de transport et de continuité de service. [11]

Semi-conducteurs. Le paradigme actuel dépend de chaînes de valeur particulièrement sophistiquées : logique avancée, mémoire, packaging, interconnexions, équipements de fabrication et matériaux. Un rapport industriel de 2026 de la Semiconductor Industry Association et Deloitte estime que les semi-conducteurs représentent plus de la moitié de l'investissement matériel d'un centre d'IA et plus de 95 % de la valeur matérielle d'un rack serveur d'IA ; ces proportions sont des estimations industrielles et non une loi physique, mais elles illustrent la concentration de l'IA moderne autour de la microélectronique avancée. [13]

Données et scaling. L'idée selon laquelle il suffirait de continuer indéfiniment à augmenter le nombre de paramètres est déjà trop simple. Les travaux Chinchilla de DeepMind ont montré qu'à budget de calcul donné, la quantité de données et la taille du modèle doivent être équilibrées : un modèle de 70 milliards de paramètres entraîné avec davantage de données a pu surpasser des modèles beaucoup plus grands sous-entraînés. Le résultat fondamental n'est pas qu'une limite absolue du scaling aurait été trouvée, mais que **la quantité de paramètres n'est qu'une dimension du problème d'optimisation**. [14]

Des projections académiques ont proposé que les stocks facilement accessibles de textes publics humains de haute qualité pourraient devenir une contrainte durant cette décennie, mais ces dates dépendent fortement des hypothèses sur la croissance de la génération de données, les méthodes d'entraînement, la multimodalité, la donnée privée et la réutilisation efficace des données ; elles ne doivent donc pas être présentées comme une date physique « d'épuisement d'Internet ». [15]

La génération synthétique n'élimine pas automatiquement le problème. Des travaux publiés dans *Nature* ont montré que l'entraînement récursif et indiscriminé sur des données générées par des modèles peut provoquer une dégradation progressive de la distribution apprise — le « model collapse », notamment dans les queues de distribution. Cela ne signifie pas que la donnée synthétique est intrinsèquement mauvaise : elle peut être filtrée, vérifiée, combinée à des données réelles et produite pour des domaines où la vérification est possible. Le résultat interdit seulement d'assimiler « génération illimitée de tokens » à « création illimitée d'information nouvelle de haute qualité ».

[16]

Inversement, le besoin de données n'est pas nécessairement condamné à croître aussi vite que les capacités. Des méthodes d'apprentissage actif et de sélection des exemples peuvent réduire la quantité d'entraînement nécessaire dans certains domaines ; DeepMind a rapporté, pour des expé-

riences spécifiques de vision et multimodalité, des réductions de 46 à 51 % du nombre de mises à jour et jusqu'à 25 % du calcul total. Le futur peut donc être déterminé autant par **l'efficacité de l'apprentissage** que par l'accumulation brute de données. [17]

2.1 Comparer le cerveau et le calcul numérique : périmètres et limites

Le cerveau humain consomme de l'ordre de **20 watts de puissance métabolique**, soit environ un cinquième du métabolisme humain au repos. Si cette puissance était constante, elle correspondrait arithmétiquement à environ 175 kWh par an. Mais cette quantité ne peut pas être convertie honnêtement en « FLOPS » ni comparée directement à la puissance électrique d'un GPU ou d'un centre de données : le cerveau ne réalise pas le même calcul, son activité inclut maintenance cellulaire, homéostasie, transmission, plasticité, mémoire, contrôle sensorimoteur et autres fonctions biologiques. [18]

Les budgets énergétiques cérébraux montrent d'ailleurs que la communication est loin d'être gratuite pour le vivant. Dans l'analyse classique d'Attwell et Laughlin sur la matière grise du rongeur, la génération des potentiels d'action et l'activité postsynaptique représentaient des fractions importantes du budget énergétique. Une analyse ultérieure du cortex humain a même estimé, sous son modèle particulier, un coût de communication neuronal bien supérieur à celui attribué au calcul synaptique local. Le cerveau n'a donc pas « résolu » le coût de la communication ; il le gère avec une architecture physiquement très différente, fortement parallèle, parcimonieuse, locale et événementielle. [19]

C'est précisément ce point qui rend le cerveau scientifiquement intéressant. Il combine, à une puissance métabolique de quelques dizaines de watts, perception multimodale, adaptation à des environnements ouverts, apprentissage continu, mémoire associative, contrôle moteur, généralisation et interaction sociale. Il constitue ainsi **notre meilleur exemple observé d'un système biologique généraliste extrêmement efficace en puissance absolue**, mais pas une preuve que ses opérations seraient énergétiquement supérieures à chaque opération numérique équivalente. Il n'existe tout simplement pas d'équivalence universelle entre les deux classes d'opérations. [18]

Tableau 3. Dimensions de comparaison entre cerveau et calcul numérique

Dimension	Système numérique contemporain	Cerveau biologique	Conclusion admissible
Horloge / dynamique	Électronique très rapide, opérations précises	Neurones individuellement beaucoup plus lents, dynamique asynchrone	La vitesse élémentaire ne prédit pas l'efficacité globale
Mémoire et calcul	Souvent physiquement séparés, malgré caches et accélérateurs	Très fortement entremêlés dans les mêmes réseaux	Avantage architectural potentiel du biologique
Communication	Très rapide mais énergétiquement coûteuse à grande échelle	Coûteuse également, mais sparse et locale	Le placement de l'information est crucial

Dimension	Système numérique contemporain	Cerveau biologique	Conclusion admissible
Précision	Haute, reproductible et déterministe selon l'opération	Bruit, stochasticité et variabilité	Le numérique est supérieur pour de nombreux calculs exacts
Plasticité	Requiert algorithmes explicites d'apprentissage	Intrinsèque au fonctionnement neuronal	Le biologique possède des propriétés d'adaptation remarquables
Maintenance	Infrastructure électrique/refroidissement	Métabolisme, oxygène, nutriments, vascularisation, thermorégulation	Comparer uniquement le « neurone » au GPU est incomplet
Reproductibilité	Très élevée	Faible à moyenne selon niveau	Avantage majeur du silicium industriel
Fabrication / copie	Millions d'unités pratiquement identiques	Développement biologique variable	Avantage majeur du numérique
Embodiment	Généralement externe	Natif dans l'organisme	Possible avantage pour cognition située
Interface	Numérique native	Conversion électrochimique ↔ électronique difficile	Goulet d'étranglement du biohybride

Sources et rapprochement de la présente étude [18, 19, 4]

Une conclusion essentielle en découle : **l'avantage énergétique apparent du cerveau ne peut être attribué aux neurones isolément**. Il peut provenir de l'ensemble composé par architecture, plasticité, parcimonie, représentation, apprentissage en ligne, corps et environnement. Si tel est le cas, extraire quelques neurones de cet ensemble pourrait précisément détruire une partie du mécanisme que l'on cherche à exploiter.

La question centrale posée par cette étude — *cherchons-nous réellement le support physique le plus efficace pour produire de l'intelligence, ou optimisons-nous une architecture héritée ?* — appelle donc une réponse double.

Oui, en partie : la séparation historique entre processeur et mémoire, la logique de déplacement massif des données et la dépendance à des infrastructures de calcul extrêmement concentrées imposent des coûts physiques que les architectures neuromorphiques et in-memory cherchent précisément à dépasser. [6]

Mais non, pas simplement : le silicium demeure dominant pour des raisons qui ne relèvent pas seulement de l'inertie historique. Il offre rapidité, précision, reproductibilité, programmabilité, standardisation, fabrication industrielle, copie, vérification, isolation et contrôle. La question rationnelle n'est donc probablement pas « silicium ou biologie ? », mais **quelle fonction mérite quel substrat ?**

3 Substrats biologiques, mémoire moléculaire et modèle du rat

3.1 L'ADN : une preuve physique d'un autre régime de mémoire

L'ADN constitue probablement le cas le plus net où le vivant démontre qu'un espace de conception radicalement différent existe. Avec quatre bases possibles, une représentation idéale permet mathématiquement jusqu'à **2 bits par base** avant toute redondance, correction d'erreurs, adressage ou contraintes biochimiques. Cette valeur est une limite informationnelle abstraite, non la densité d'un produit de stockage réel.

En 2017, Erlich et Zielinski ont présenté **DNA Fountain**, encodant environ 2,14 MB et rapportant une densité de 215 pétaoctets par gramme d'ADN avec récupération complète dans leur démonstration. Ce nombre spectaculaire doit être interprété correctement : il caractérise une expérience d'encodage moléculaire de petite échelle, pas un système industriel comprenant synthétiseur, conteneur, index, redondance opérationnelle, robotique et séquenceur. [20]

En 2018, Organick et ses collègues ont porté les démonstrations à plus de 200 MB, répartis dans 35 fichiers et plus de treize millions d'oligonucléotides, avec accès sélectif à des fichiers grâce à des mécanismes d'adressage moléculaire et récupération sans erreur après décodage. Ce résultat démontre que l'ADN n'est pas seulement un concept de densité : un espace de fichiers avec accès sélectif est physiquement réalisable. Il ne démontre cependant rien de comparable aux latences aléatoires d'une DRAM ou d'un SSD. [21]

La stabilité est tout aussi remarquable. Grass et ses collaborateurs à l'ETH Zurich ont encapsulé de l'ADN dans de la silice et utilisé un vieillissement accéléré pour projeter une conservation très longue, avec récupération sans erreur dans leurs expériences. Des travaux ultérieurs ont estimé, sous différents régimes de température et d'encapsulation, des durées allant de décennies à température ambiante à des millénaires à basse température, voire beaucoup plus pour le stockage congelé. Il s'agit d'extrapolations physicochimiques issues de vieillissements accélérés, et non d'archives directement observées pendant deux mille ans. [22]

Tableau 4. Stockage ADN : propriétés, preuves et limites

Propriété	Limite ou démonstration	État en 2026	Interprétation
Densité brute	Jusqu'à 2 bits/base idéale-ment	Physiquement exception- nelle	Ne comprend pas toute l'infra- structure
Densité expéri- mentale	215 PB/g rapportés dans DNA Fountain	Démontrée sur petit jeu de données	Pas une capacité industrielle livrable équivalente
Stabilité	Décennies à millénaires se- lon conditions ; projections plus longues à basse tem- pérature	Fort potentiel expéri- mental	Dépend fortement de l'encapsu- lation et de l'environnement
Conservation pas- sive	Pas de rafraîchissement électronique de la molécule	Avantage fondamental	L'archive physique possède néanmoins des coûts de manu- tention et de contrôle

Propriété	Limite ou démonstration	État en 2026	Interprétation
Écriture	Synthèse chimique de séquences	Lente et coûteuse par rapport au stockage électronique courant	Principal goulet d'étranglement
Lecture	Séquençage	Haute latence comparée à la mémoire électronique	Adaptée surtout aux archives
Accès sélectif	Démontré expérimentalement	Oui	Très loin de l'accès nanoseconde
Erreurs	Synthèse, mutations, pertes, insertions/ suppressions possibles	Gérables par codage/ redondance	Réduit la densité utile
Maturité	Prototypes et efforts industriels	Préindustrielle / niches archivistiques	Pas un remplacement de RAM, SSD ou HBM

Sources et rapprochement de la présente étude [20, 21, 22]

Le changement conceptuel est néanmoins profond. La nature démontre qu'**un support d'information n'a pas besoin d'être continuellement alimenté en électricité ni organisé comme une hiérarchie électronique de cellules mémoire** pour posséder une densité et une longévité remarquables. L'ADN oblige ainsi à distinguer la question « quel est le meilleur stockage pour l'informatique interactive ? » de la question « quel est le meilleur support physique pour conserver une masse d'informations pendant des décennies ou siècles ? ». Les réponses peuvent être différentes. [20]

Le scénario crédible n'est donc pas celui d'un LLM lisant directement ses poids dans une cuve d'ADN à chaque token. Le scénario crédible est celui d'une **hiérarchie de mémoire hétérogène** : mémoires électroniques rapides pour les données actives ; stockage solide pour les données tièdes ; stockage moléculaire pour des archives extrêmement denses et rarement consultées. Dans cette fonction, l'ADN pourrait devenir l'équivalent physique d'une couche d'archivage profond plutôt qu'un substitut universel aux technologies actuelles.

3.2 Neuromorphique et calcul en mémoire : une alternative au tissu vivant

Avant de supposer que l'efficacité biologique implique l'utilisation de matière vivante, il faut examiner une voie beaucoup moins coûteuse éthiquement : **copier certains principes du cerveau sans utiliser de cerveau**.

Les travaux en calcul analogique en mémoire ont déjà démontré des puces dans lesquelles des multiplications matricielles sont effectuées dans des dispositifs de mémoire à changement de phase. Une puce IBM publiée dans *Nature* comportait environ 35 millions de dispositifs PCM répartis sur 34 tuiles de calcul et atteignait jusqu'à 12,4 TOPS/W soutenus au niveau de la puce sur les tâches étudiées ; d'autres travaux ont obtenu une précision proche de références logicielles sur des workloads de réseaux neuronaux complets. Ces performances ne doivent pas devenir un classement universel — elles dépendent de la précision et de la tâche — mais elles démontrent que l'on peut réduire le « mur mémoire » sans faire intervenir de cellules vivantes. [4]

Les systèmes neuromorphiques purs suivent une logique différente : événements asynchrones, activité sparse, mémoire distribuée et communication par spikes. Hala Point, présenté par Intel en 2024 comme système de recherche, simule à très grande échelle des neurones et synapses artificiels avec une architecture événementielle. Les chiffres de performance publiés par Intel sont des mesures du fournisseur sur des workloads particuliers et ne doivent surtout pas être interprétés comme une équivalence avec un cerveau humain. [23]

Cette voie constitue un **test de falsification majeur** de l'hypothèse biologique : si l'essentiel de l'avantage énergétique et adaptatif du vivant peut être reproduit par des systèmes neuromorphiques, analogiques ou in-memory stables et non sensibles, l'argument utilitaire en faveur de l'emploi de tissu neuronal vivant s'affaiblit considérablement.

3.3 Cultures neuronales et organoïdes : ce qui est effectivement démontré

Le saut vers le vivant n'est pourtant plus entièrement spéculatif. [24]

En 2022, Kagan et ses collègues ont utilisé des cultures de neurones corticaux humains et de rongeurs connectées à une matrice multiélectrodes dans un environnement fermé inspiré du jeu Pong. Les réseaux ont modifié leur comportement au cours de l'interaction, avec des performances différant de contrôles privés du même feedback. Cette expérience établit qu'un réseau neuronal biologique *in vitro* peut être intégré à une boucle computationnelle et manifester une adaptation comportementale mesurable dans une tâche artificielle. Elle ne démontre ni intelligence générale ni conscience. Le vocabulaire de « sentience » employé dans le titre et l'interprétation de l'article demeure beaucoup plus controversé que le résultat comportemental lui-même. [24]

En 2023, Cai et ses collègues ont présenté **Brainoware**, un système de reservoir computing utilisant un organoïde cérébral interfacé par une matrice multiélectrodes. Ils ont observé des dynamiques non linéaires et une mémoire évanescence, puis exploité le système pour une tâche de reconnaissance de parole et une tâche de prédiction d'équation non linéaire. Il s'agit d'une preuve de principe importante : du tissu neural tridimensionnel vivant peut jouer le rôle d'un substrat de calcul physique. Il ne s'agit ni d'un ordinateur général ni d'une démonstration de compétitivité énergétique à l'échelle du système. [3]

Le programme dit **Organoid Intelligence** propose d'étudier systématiquement cette possibilité à l'intersection des neurosciences, des interfaces et du calcul. Il doit être compris comme un **programme scientifique émergent**, et non comme la description d'une technologie mature. Les standards de recherche sur les cellules souches et organoïdes ont simultanément renforcé les attentes d'évaluation éthique et de supervision, précisément parce que l'augmentation de complexité des modèles neuronaux soulève des questions nouvelles, même en l'absence de preuve actuelle de conscience. [25]

Le point le plus souvent oublié dans les discours sur le biocomputing est son **bilan système**. Le tissu neuronal peut fonctionner avec une activité électrique intrinsèquement faible, mais un dispositif expérimental exige milieu nutritif, régulation thermique et chimique, matériel de culture, interfaces multiélectrodes, acquisition du signal, conversion analogique-numérique et traitement électronique. Les démonstrations actuelles établissent une capacité de calcul ; elles n'établissent pas encore qu'un ordinateur biologique complet, incluant sa maintenance et ses interfaces, possède une meilleure énergie par tâche utile qu'un accélérateur solide moderne. [3]

Cette distinction conduit à proposer un critère obligatoire pour toute recherche ultérieure :

Exigence d'avantage biohybride net : un substrat biologique ne devrait être considéré comme alternative computationnelle qu'après démonstration d'un avantage fonctionnel ou énergétique qui subsiste une fois comptabilisés interface, maintien en vie, contrôle thermique et chimique, variabilité, remplacement, biosécurité, instrumentation et coûts éthiques.

Il s'agit d'une proposition méthodologique de cette étude, et non d'un standard scientifique actuellement consacré.

3.4 Du neurone au rat : six niveaux qui ne doivent jamais être confondus

La littérature impose de distinguer :

neurone isolé → culture neuronale → organoïde → tissu organisé → cerveau animal → organisme complet.

Chaque passage ajoute des phénomènes que le niveau inférieur ne reproduit pas automatiquement : architecture développementale, diversité cellulaire, vascularisation, neuromodulation, entrées sensorielles, régulation corporelle, motivation, action et environnement social. [25]

Le rat intervient ici comme **modèle de cognition incarnée**, non comme « ordinateur naturel à brancher ». Dans l'étude de Gnaedinger, Gurden, Gourévitch et Martin (2019), l'association apprise entre odeurs et sons s'accompagne de modifications des oscillations bêta dans les régions enregistrées. Le protocole relie un animal actif, une tâche, des stimuli et une récompense. Il soutient l'intérêt d'étudier l'apprentissage dans son contexte sensoriel et comportemental ; il n'établit pas à lui seul les affirmations plus larges de l'original sur la navigation auditive, les récompenses sociales ou les états de congénères. L'observation d'un organisme en interaction ne doit pas être assimilée à celle d'un réseau cellulaire extrait de cet organisme. [26]

C'est précisément le point philosophique et scientifique de l'**embodiment**. Un rat ne possède pas simplement un cerveau connecté à des capteurs. Le cerveau s'est développé avec un corps dont les besoins, mouvements et régulations déterminent continuellement la signification des signaux qu'il reçoit. Son apprentissage est couplé à la possibilité d'agir et aux conséquences de ses actions. La présente étude en déduit que la recherche de l'efficacité biologique pourrait conduire à une conclusion paradoxale : **le cerveau isolé peut être plus facile à interfacer, mais l'organisme entier contient peut-être une partie de l'architecture d'intelligence que l'on cherchait précisément à préserver**. Cette conclusion est une inférence, soutenue par les travaux comportementaux précédents. [26]

Elle ne justifie absolument pas de convertir le rat en infrastructure informatique. La Suisse soumet la recherche animale à autorisation et au principe des **3R — replace, reduce, refine** : substitution lorsque des alternatives existent, réduction du nombre d'animaux et diminution de la contrainte ou de la souffrance. Le droit européen de l'expérimentation animale applique également les 3R et inscrit comme objectif le remplacement des procédures utilisant des animaux vivants lorsque cela devient scientifiquement possible. [27]

La différence éthique avec une culture neuronale est fondamentale. Un organisme mammalien complet possède des systèmes nociceptifs, des besoins physiologiques, des comportements de stress, d'évitement et de motivation dont la pertinence pour son bien-être est établie. Une optimisation computationnelle ne constitue donc pas, à elle seule, une justification proportionnée de l'utilisation d'un animal entier. [27]

Le rat doit ainsi jouer, dans le programme, trois rôles admissibles : **référence scientifique de cognition incarnée**, source de connaissances neuroscientifiques issues de recherches existantes correctement encadrées, et limite permettant de tester l'argument « les neurones suffisent-ils ? ». Il ne devrait pas être transformé en proposition de « hardware vivant » simplement parce qu'il pourrait théoriquement fournir des propriétés computationnelles intéressantes. [26, 27]

Une voie peut être techniquement intéressante et devoir néanmoins être écartée au regard de sa justification scientifique, de ses alternatives et des contraintes qu'elle impose. Selon le critère normatif de proportionnalité retenu ici, l'utilisation d'un organisme sentient entier comme ressource générique de calcul ne serait pas justifiée lorsque les propriétés recherchées peuvent être obtenues par des méthodes substantiellement moins préjudiciables. Ce raisonnement distingue l'intérêt d'une question scientifique de l'autorisation d'un dispositif expérimental concret. [27, 28]

4 De la donnée humaine à l'intelligence hybride

L'intuition « aller directement à la source » est l'une des plus puissantes de l'hypothèse étudiée, mais également l'une des plus faciles à mal formuler.

Les grands systèmes d'IA contemporains apprennent effectivement à partir de productions humaines : langage, images, programmes, documents, interactions ou préférences. Cela peut donner l'impression que l'on collecte, copie et compresse laborieusement les conséquences externes d'une intelligence biologique alors qu'il serait plus efficace d'accéder au système qui les produit.

Cette intuition contient une vérité importante mais également un piège : **la source physiquement la plus proche d'un processus cognitif n'est pas nécessairement la représentation informationnelle la plus utile.**

Un texte est déjà une opération de compression et de structuration effectuée par son auteur. Il transforme des milliards d'états neuronaux contextuels en une représentation symbolique partageable, stable, adressable et relativement indépendante du cerveau qui l'a produite. À l'inverse, un signal neuronal est extrêmement proche physiquement de l'activité cérébrale, mais son sens dépend de la région, du moment, du comportement, du participant et du modèle de décodage. Les avancées des BCI ne montrent pas que le cerveau est un disque dont on pourrait ouvrir les fichiers ; elles montrent qu'il est possible d'apprendre certaines relations statistiques entre activité et variables cognitives ou motrices suffisamment contraintes. [29]

Les neurosciences contemporaines décrivent en outre la mémoire comme reposant sur des ensembles neuronaux distribués et dynamiques plutôt que sur une adresse sémantique unique équivalente à un bloc de stockage informatique. Différents souvenirs peuvent recruter des ensembles partiellement chevauchants, et leur rappel dépend du contexte et des réseaux impliqués. La métaphore de la « base de données cérébrale directement lisible » est donc scientifiquement trompeuse. [30]

4.1 Une échelle de proximité humain-IA

Tableau 5. Proximité fonctionnelle entre humain et système artificiel

Niveau	Relation	État scientifique en 2026	Changement institutionnel principal
Données humaines numérisées	Humain → production → données → modèle	Dominant aujourd'hui	Consentement, propriété intellectuelle, protection des données
Assistant permanent	Interaction volontaire et mémoire externe personnalisée	Techniquement courant	Dépendance, profilage, portabilité et contrôle de mémoire
Données physiologiques et cognitives	EEG, ECoG, intracortical, biométrie, attention, etc.	Démonstré selon modalités	Données beaucoup plus sensibles, finalité et consentement renforcés

Niveau	Relation	État scientifique en 2026	Changement institutionnel principal
Boucle neuronale bidirectionnelle	Décodage + restitution/ stimulation	Démonstré expérimentalement dans certaines BCI	Intégrité, cybersécurité, autonomie et risques médicaux
Intégration cognitive profonde	Fonction cognitive durablement distribuée humain-IA	Conceptuellement plausible, définition encore instable	Identité, auteur, responsabilité, souveraineté mentale
Fusion assimilable à une nouvelle entité cognitive	Frontière fonctionnelle humain/système difficile à tracer	Spéculatif	Catégories classiques potentiellement insuffisantes

Sources et rapprochement de la présente étude [29, 31, 32]

Les interfaces actuelles montrent que les trois premières transitions ne sont plus de la science-fiction. [29, 33]

En 2023, Willett et ses collègues ont démontré chez une personne atteinte de sclérose latérale amyotrophique un système intracortical décodant la parole tentée à environ **62 mots par minute** en moyenne et atteignant un taux d'erreur de 23,8 % avec un vocabulaire de 125 000 mots. Il s'agissait d'une neuroprothèse entraînée pour cette personne et cette fonction, pas d'un décodeur universel de pensée. [29]

D'autres travaux, notamment ceux de Metzger et ses coauteurs (2023), ont utilisé l'électrocorticographie pour produire texte, parole synthétique et animation d'un avatar à partir de l'activité liée à la parole. Cette démonstration associe décodage, restitution et calibration individuelle. Elle ne prouve ni un accès à toute pensée ni une généralisation immédiate d'une personne ou d'une langue à une autre. [33]

En 2026, Card et ses coauteurs ont rapporté dans *Nature Medicine* un usage domestique prolongé d'une interface intracorticale pour la parole et le contrôle de curseur : **dix-neuf mois, plus de 3 800 heures et 183 060 phrases** chez un participant atteint de sclérose latérale amyotrophique. L'usage du système était autonome dans les activités rapportées, mais son installation et son retrait mobilisaient des aidants. Cette continuité fonctionnelle constitue un résultat clinique important pour ce participant ; elle ne transforme pas la neuroprothèse en dispositif universel, autonome de toute assistance ou directement généralisable à une population non clinique. [34]

La boucle inverse — machine vers cerveau — existe également. Dans une expérience publiée dans *Science*, une personne présentant une lésion médullaire utilisait une BCI motrice combinée à une stimulation intracorticale somatosensorielle fournissant un retour tactile ; ce feedback a réduit approximativement de moitié le temps médian d'accomplissement des tâches étudiées. Il s'agit d'une démonstration claire de **boucle bidirectionnelle fonctionnelle**, mais dans un environnement clinique très contrôlé. [32]

Les approches non invasives ne rendent pas davantage la pensée « transparente ». Le décodeur sémantique par IRMF publié par Tang et ses collègues pouvait reconstruire certains contenus sémantiques à partir de parole perçue ou imaginée après entraînement personnalisé. La nécessité de cali-

bration et les limites de généralisation sont essentielles : le résultat démontre qu'une information sémantique peut être décodée statistiquement dans certaines conditions, pas qu'un scanner peut lire arbitrairement les pensées d'une personne inconnue. [31]

4.2 Aller directement à la source ne supprime pas le problème des données

Une future IA connectée à un cerveau rencontrerait au moins quatre nouveaux problèmes.

Premièrement, elle devrait apprendre **la fonction de décodage elle-même**. Plus le signal est brut, moins sa signification est pré-structurée. Le langage externalisé fait déjà une partie de ce travail.

Deuxièmement, le cerveau est continuellement dépendant du contexte. Une activation ne signifie pas nécessairement « croyance », « intention » ou « préférence ». Une mesure corrélée à l'attention n'est pas le consentement ; un signal associé à une catégorie n'est pas une déclaration.

Troisièmement, le canal biologique possède une bande passante et un rapport signal/bruit contraints. Les performances spectaculaires des neuroprothèses modernes sont obtenues précisément parce que la tâche et le vocabulaire comportemental sont modélisés, que le participant coopère et qu'une calibration est effectuée. [29]

Quatrièmement, une interface directe transforme un problème de collecte de données en problème de **gouvernance du sens** : qui décide ce qu'un signal signifie, combien de temps l'interprétation est conservée, s'il peut être réinterprété ultérieurement avec un meilleur modèle et si une inférence non intentionnelle peut être utilisée ?

La conclusion est donc moins spectaculaire mais plus profonde que « l'IA pourra lire le cerveau » : [29, 31]

L'accès neuronal peut réduire la distance physique entre IA et cognition humaine tout en augmentant la distance interprétative, juridique et morale qu'il faut gouverner.

4.3 De l'assistant au système cognitif étendu

La seconde voie demandée par le projet — **l'intégration informationnelle** — pourrait être beaucoup plus importante historiquement que l'implant. [2]

Un humain modifie déjà son architecture fonctionnelle lorsqu'il apprend une langue, des mathématiques, une méthode mnémotechnique ou l'utilisation d'un outil. Une IA personnalisée et disponible en permanence peut aller plus loin en devenant une mémoire auxiliaire, une interface vers l'information, un système de formulation, de vérification et de métacognition. Aucune électrode n'est requise pour qu'une partie de la performance cognitive du couple humain-outil devienne impossible à attribuer à l'un des deux pris séparément.

La progression proposée dans cette étude est donc :

outil externe → assistant permanent → mémoire externe personnalisée → système cognitif étendu → boucle de décision humain-IA → partage fonctionnel de capacités → transformation durable des habitudes cognitives → intelligence hybride.

Ces stades ne décrivent pas une loi de développement inévitable. Ils constituent une grille institutionnelle permettant d'identifier le moment où la question change de nature.

Au stade de l'outil, supprimer le service revient essentiellement à perdre un outil.

Au stade de la mémoire externe intégrée, la suppression peut provoquer une **perte fonctionnelle** parce qu'une personne a organisé sa mémoire autour du système.

Au stade de la boucle de décision, l'IA influence la manière dont la personne sélectionne et évalue ses propres options.

Au stade de la transformation durable, certaines habitudes intellectuelles persistent après déconnexion.

À ce moment, l'interrogation de la deuxième étude sur la domination prend une forme nouvelle : **une personne peut-elle être dominée non par une décision imposée de l'extérieur, mais parce que l'infrastructure dont dépend sa propre cognition oriente systématiquement ce qu'elle voit, se rappelle ou considère comme possible** [2]

Cette question conduit à distinguer **augmentation** et **capture cognitive**. Une technologie augmente lorsque son utilisateur peut comprendre suffisamment son rôle, conserver des alternatives, la quitter et contester ses interventions. Elle tend vers la capture lorsque les coûts de sortie deviennent prohibitifs, qu'elle contrôle les informations auxquelles l'utilisateur accède, que sa mémoire remplace des capacités devenues difficiles à reconstruire, ou que sa personnalisation lui donne une capacité asymétrique de persuasion.

4.4 д-Я.Ў — Алгоритме Яёseau Ўеural

Dans ce cadre, **д-Я.Ў ne peut pas être présenté comme une technologie validée**. Aucun résultat scientifique ne permet actuellement d'écrire dans un cerveau humain une architecture mentale complexe comme on écrit un programme déterministe en mémoire informatique.

Mais le concept peut être rendu scientifiquement plus précis et donc plus utile.

Un д-Я.Ў pourrait être défini, comme objet théorique, non comme un code machine destiné à des neurones mais comme :

une structure informationnelle conçue pour provoquer, par apprentissage et interaction, l'acquisition progressive d'un ensemble de représentations, relations, procédures cognitives ou métacognitives dans un réseau neuronal biologique.

Sa « syntaxe » ne serait donc pas nécessairement une suite d'opcodes. Elle pourrait porter sur l'ordre dans lequel l'information est présentée, les dépendances conceptuelles, les boucles de feedback, la répétition, les modalités sensorielles, l'adaptation à l'état de connaissance et les conditions permettant à l'apprenant de vérifier ou corriger la représentation acquise.

Son « exécution » serait un **processus d'apprentissage**.

Cette reformulation préserve l'idée originale tout en posant une limite majeure :

apprendre n'est pas programmer.

Un programme numérique peut, sous des conditions définies, reproduire exactement une transition d'état. Un cerveau apprend selon son développement, ses connaissances antérieures, son attention, ses motivations, son sommeil, son environnement, son histoire et sa plasticité. Une même structure d'information ne produit donc pas nécessairement le même état cognitif chez deux individus.

Il serait particulièrement dangereux de présenter $\mathcal{D}\text{-}\mathcal{R}\text{-}\mathcal{I}$ comme une technologie de « réécriture mentale ». La version scientifiquement défendable appartient davantage à l'intersection de la **pédagogie adaptative, des sciences cognitives, de la linguistique, de la métacognition, du neurofeedback, de la théorie de l'information et de l'interaction humain-IA**. Les travaux sur le réservoir computing montrent qu'il est possible de définir des cadres de programmation pour des systèmes neuraux dynamiques, mais cela ne permet pas d'extrapoler à une programmation déterministe d'un cerveau humain. [35]

Cette distinction fournit également son critère de réfutation. Si $\mathcal{D}\text{-}\mathcal{R}\text{-}\mathcal{I}$ ne produit aucun effet explicatif ou prédictif qui ne puisse être décrit plus simplement par « curriculum d'apprentissage adaptatif », « pédagogie personnalisée » ou « neurofeedback », il ne constitue pas une nouvelle catégorie scientifique : il reste un langage conceptuel propre au projet. Pour mériter davantage, il faudrait qu'il permette de formuler puis de tester des prédictions que ces cadres existants ne produisent pas. [35]

4.5 Qui pense dans un système hybride ?

À mesure que les niveaux précédents se rapprochent, les questions posées par le projet deviennent réelles avant même toute « fusion ».

Où commence l'individu ? Juridiquement, la personne physique ne cesse pas d'exister parce qu'elle utilise une mémoire externe. Fonctionnellement, cependant, une partie de ses capacités peut être distribuée. [1]

Qui produit une pensée ? Une distinction est nécessaire entre causalité et paternité. Une IA peut causalement contribuer à une idée sans devenir automatiquement son auteur juridique ou moral ; inversement, une personne peut endosser une production qu'elle a suffisamment orientée et évaluée.

Où se trouve la mémoire ? La mémoire autobiographique biologique reste dans l'individu ; des documents, embeddings, historiques ou profils peuvent devenir une mémoire fonctionnelle externe. Confondre ces deux formes rendrait impossible une politique cohérente de continuité.

La modification durable des habitudes change-t-elle l'identité ? Elle peut évidemment modifier la personnalité et les compétences au sens ordinaire, comme toute éducation. Affirmer qu'elle crée juridiquement une nouvelle personne exigerait une théorie beaucoup plus forte de l'identité que les données scientifiques ne fournissent pas. [30]

Qui est responsable d'une décision hybride ? La réponse ne peut être « personne, parce que personne n'a décidé seul ». C'est précisément ici que les chaînes de responsabilité développées dans les deux études antérieures restent nécessaires. La complexité causale ne doit pas devenir une technique d'effacement de l'imputabilité. [1, 2]

5 Architecture hétérogène et statut scientifique des trajectoires

La question « remplacer le silicium par le biologique » est probablement mal posée. Rien dans la physique ni dans l'ingénierie ne requiert qu'une intelligence future repose sur un seul type de matière.

Une architecture plus crédible pourrait ressembler à ceci :

Tableau 6. Fonctions d'une architecture hétérogène possible

Couche	Fonction privilégiée	Avantage recherché	Limite structurante
Silicium numérique	Calcul exact, orchestration, cryptographie, logique, contrôle	Vitesse, précision, reproductibilité	Déplacement de données et énergie
Calcul in-memory / analogique	Algèbre matricielle, inference spécialisée	Réduction des transferts mémoire	Bruit, précision, intégration logicielle
Neuromorphique	Événements sparse, perception, traitement temporel	Efficiency et proximité calcul/ mémoire	Programmabilité et maturité
Réseaux neuronaux biologiques	Adaptation dynamique, apprentissage dans certains environnements	Plasticité et auto-organisation	Variabilité, maintenance, éthique, interface
ADN / supports moléculaires	Archives très denses et très longues	Densité et conservation passive	Écriture/lecture lentes
Cerveau humain	Expérience vécue, cognition située, sens, objectifs et jugement	Contextualisation, apprentissage social, flexibilité	Vulnérabilité, droits fondamentaux, bande passante d'interface
IA numérique	Abstraction, recherche, compression, coordination, traduction entre modalités	Échelle et rapidité informationnelle	Alignement, dépendance, erreurs et concentration de pouvoir
Institution	Identité, permissions, consentement, audit, recours	Contrôle des relations de pouvoir	Ne garantit pas seule le comportement

Sources et rapprochement de la présente étude [4, 20, 3]

Les preuves sur le calcul analogique en mémoire, le stockage ADN et les organoïdes montrent déjà les trois premières bifurcations par rapport à l'ordinateur conventionnel ; elles restent cependant à des niveaux de maturité profondément différents. [4]

Cette architecture permet une interprétation nouvelle de l'Alignement institutionnel réciproque : **l'institution devient elle-même une couche de l'architecture cognitive distribuée**. Dans une intelligence hybride, une permission d'accès au cerveau, une règle de conservation des données,

une possibilité de déconnexion ou un droit de recours ne sont pas des règles périphériques appliquées après la construction du système. Elles déterminent quels flux informationnels peuvent exister et donc ce que le système peut devenir. [2]

5.1 Cartographie de l'état des preuves

Tableau 7. Cartographie des propositions et de leurs limites

Proposition	État en septembre 2026	Verdict
Les centres de données et l'IA représentent une demande électrique croissante	Scientifiquement / institutionnellement établi	Contrainte réelle
Les mouvements mémoire-calcul peuvent devenir un coût énergétique majeur	Démontré sur de nombreuses architectures et workloads, importance variable	Motive in-memory
Le neuromorphique peut offrir de fortes économies sur certaines tâches	Expérimental et démontré par workload	Alternative crédible au vivant dans de nombreux cas
Le cerveau humain fonctionne à une puissance métabolique de l'ordre de 20 W	Bien établi	Exemple biologique exceptionnel
Une conversion fiable « cerveau = X FLOPS » existe	Faux / non établi	Comparaison à éviter
L'ADN peut stocker des informations numériques avec densité très élevée	Démontré	Oui
L'ADN est aujourd'hui un remplacement pratique de SSD/ RAM	Non	Latence et écriture incompatibles
Des cultures neuronales peuvent adapter leur activité dans une boucle artificielle	Démontré expérimentalement	Oui, tâches étroites
Des organoïdes peuvent servir de réservoir computing	Démontré expérimentalement	Oui, preuve de principe
Un biordinateur organoïde est globalement plus économe qu'un accélérateur silicium	Non démontré	Question ouverte
Des organoïdes actuels sont conscients	Non établi	Ne doit pas être présupposé
Le rat est un modèle de cognition multi-sensorielle, adaptative et incarnée	Établi	Très utile conceptuellement
Un rat devrait être utilisé comme matériel informatique	Non justifié	Coûts éthiques et scientifiques majeurs

Proposition	État en septembre 2026	Verdict
Une BCI peut décoder certaines intentions de parole	Démontré	Oui, dans des conditions déterminées
Une BCI peut fonctionner bidirectionnellement	Démontré expérimentalement	Oui
Une IA peut lire arbitrairement les pensées ou souvenirs	Non démontré	Métaphore trompeuse
Une relation continue humain-IA peut créer une extension cognitive fonctionnelle	Plausible et déjà partiellement observable	Important à étudier
д-Я.И est une technologie de programmation cérébrale	Non	Concept théorique uniquement
Une architecture distribuée multi-substrats est physiquement possible	Plausible ; composants déjà démontrés séparément	Hypothèse prospective forte
Une telle architecture serait une personne unique	Question philosophique/ juridique	Aucun verdict scientifique

Sources et rapprochement de la présente étude [8, 18, 20, 3, 29]

5.2 L'argument en faveur de la convergence biologique-artificielle

L'argument favorable le plus robuste n'est pas mystique.

La physique nous montre que la cognition biologique fonctionne dans un régime remarquablement efficace ; l'informatique contemporaine rencontre des coûts croissants de communication, mémoire, refroidissement et infrastructure ; le stockage ADN montre qu'une densité informationnelle et une conservation passive très éloignées des supports conventionnels sont possibles ; les cultures neuronales et organoïdes démontrent qu'un substrat vivant peut être incorporé à une boucle de calcul ; les BCI montrent que des flux informationnels directs entre cerveau et machine sont réalisables. Les trois catégories — **calcul biologique, mémoire moléculaire et couplage humain-machine** — ont donc déjà franchi le seuil séparant la pure fiction de la preuve de principe.

[8]

Une architecture future pourrait alors ne plus demander à une même machine de mémoriser, apprendre, raisonner, percevoir et donner du sens. Elle répartirait ces fonctions entre supports spécialisés. Cette architecture serait analogue, non à un ordinateur plus grand, mais à un **écosystème computationnel**.

L'argument devient encore plus fort lorsque l'on considère les données humaines. Si une partie du but de l'IA est d'aider une personne déterminée, reconstruire entièrement cette personne à partir de documents historiques est inefficace. Une boucle volontaire et progressive peut permettre à l'IA d'apprendre directement les objectifs, corrections et contextes de son utilisateur au fil de l'interaction, sans exiger pour autant un accès neural brut. La trajectoire « assistant permanent → coadaptation » peut donc produire une partie des bénéfices espérés d'une interface directe avec un risque beaucoup plus faible.

5.3 L'objection du bilan système et des alternatives non biologiques

L'objection la plus forte est que **le biologique pourrait être une fausse optimisation**.

Le cerveau est efficace parce qu'il est le résultat d'un système biologique complet et d'un apprentissage développemental prolongé. Isoler le tissu qui paraît computationnel et le placer dans un incubateur peut exiger tellement de support, de conversion et de contrôle que le gain disparaît. [4, 23]

Les architectures numériques continuent simultanément à évoluer. Le calcul analogique en mémoire et le neuromorphique tentent d'importer la localité, l'événementiel et la parcimonie du cerveau sans supporter variabilité biologique, vieillissement, stérilité, culture, biosécurité et question du statut moral. [4]

L'ADN peut être extraordinairement dense tout en restant trop lent et coûteux pour la mémoire active. Les BCI peuvent être extraordinairement importantes médicalement tout en ne fournissant jamais un canal cognitif plus riche que le langage pour la majorité des utilisateurs. Les organoïdes peuvent calculer sans devenir industriels. Et un cerveau biologique peut être énergétiquement extraordinaire tout en étant une mauvaise plateforme d'ingénierie parce qu'il est variable, difficile à standardiser et impossible à modifier librement.

À cela s'ajoute un coût que le benchmarking traditionnel ne sait pas exprimer en joules : **le coût moral**. Un gain énergétique ne compense pas automatiquement l'augmentation de souffrance animale, la perte d'autonomie humaine ou la création d'entités biologiques dont le statut moral deviendrait incertain.

5.4 Ce qui réfuterait effectivement l'intérêt du biologique

L'hypothèse favorable devrait être considérée comme substantiellement affaiblie si plusieurs résultats suivants apparaissaient :

Tableau 8. Observations susceptibles de fragiliser l'intérêt d'un substrat biologique

Observation future	Conséquence
Neuromorphique et in-memory atteignent les mêmes avantages sans tissu vivant	L'argument utilitaire pour le vivant s'effondre en grande partie
Le bilan complet d'un module biologique est moins bon après incubation, interface et remplacement	L'avantage énergétique apparent était un artefact de frontière système
Les cultures/organoïdes restent trop variables pour des fonctions reproductibles	Le substrat biologique reste un outil scientifique plutôt qu'un calculateur
L'ADN demeure économiquement et temporellement non compétitif même en archive profonde	Son intérêt informatique reste de niche
Les BCI n'apportent pas d'information significativement supérieure à l'interaction comportementale pour les usages non thérapeutiques	« Aller à la source » perd son avantage
Les gains biologiques exigent des organismes capables de souffrir	Le rapport bénéfice/risque peut devenir négatif

Observation future	Conséquence
Д-Я.Ў ne prédit rien de différent des théories classiques de l'apprentissage	Il doit rester vocabulaire philosophique
Les systèmes humain-IA augmentent davantage la dépendance que les capacités	La « symbiose » devient capture
Les interfaces profondes augmentent manipulation, biais ou perte d'autonomie	L'intégration doit être limitée malgré sa faisabilité
Les avantages disparaissent lors du passage à l'échelle	La preuve de principe ne devient pas architecture

Construction analytique ou dispositif proposé par la présente étude.

Inversement, l'hypothèse biologique gagnerait fortement en crédibilité si l'on démontrait, sur des tâches fonctionnellement comparables, un **avantage système entier** reproductible, une capacité d'apprentissage adaptatif difficile à reproduire non biologiquement, une interface robuste et un régime éthique acceptable.

C'est cette exigence qui empêche le programme de devenir idéologique : **le but n'est pas de prouver que le vivant est l'avenir. Le but est de permettre qu'il le soit si — et seulement si — les mesures physiques, fonctionnelles et éthiques convergent réellement.**

6 Neurodroits, droit positif et laboratoire institutionnel S-Д.holdings

La convergence biologique-artificielle élargit les questions juridiques. La première étude examinait à la fois l'éventuelle reconnaissance d'intérêts propres aux IA et le risque de diluer la responsabilité humaine ; elle ne réduisait pas son diagnostic au seul refus de reconnaissance. Dans le présent volet, un problème supplémentaire apparaît : la valeur scientifique ou économique de signaux neuronaux ne rend pas l'activité mentale disponible par défaut. L'égalité du socle de droits est compatible avec des garanties spécifiques à l'intégrité corporelle et cognitive, tout comme avec l'examen futur de protections adaptées à d'autres formes d'intelligence. La proximité technique n'est pas un titre juridique sur la personne. [1, 2, 36]

6.1 Suisse

À la date de cette étude, la Suisse ne possède pas encore de loi générale et transversale équivalente à l'AI Act européen. Le Conseil fédéral a choisi de préparer une mise en œuvre sectorielle de la Convention-cadre du Conseil de l'Europe sur l'IA et un projet destiné à la consultation est annoncé d'ici fin 2026. La Suisse a signé la Convention-cadre en mars 2025. [37]

La **loi fédérale sur la protection des données** est cependant déjà applicable aux traitements utilisant de l'IA lorsqu'ils concernent des données personnelles. Le Préposé fédéral à la protection des données et à la transparence rappelle que la LPD révisée, en vigueur depuis le 1er septembre 2023, s'applique directement à ces traitements. La protection des données participe en droit suisse à la concrétisation de l'autodétermination informationnelle découlant notamment de la protection constitutionnelle de la sphère privée. [38]

La **loi relative à la recherche sur l'être humain** et ses ordonnances protègent la dignité, la personnalité et la santé des participants et encadrent la recherche portant sur les personnes, le matériel biologique et les données personnelles liées à la santé. Le cadre impose notamment le consentement pour les recherches concernées et régit également la réutilisation des données et matériels. [39]

Une interface cerveau-machine à destination médicale peut relever de la réglementation des dispositifs médicaux, selon sa destination et ses caractéristiques. Swissmedic indique que l'obligation d'enregistrement de dispositifs dans *swissdamed* a débuté le 1er juillet 2026, avec une transition jusqu'au 31 décembre 2026 sous les exceptions précisées par l'autorité. Cet enregistrement ne remplace pas les autres exigences de conformité ni les autorisations de recherche applicables. Le statut d'un dispositif particulier doit donc être apprécié dans son propre dossier, et non déduit du seul mot « interface ». [40]

Pour les animaux, le régime suisse d'autorisation, de proportionnalité et des 3R constitue une limite directe à l'idée d'une expérimentation bio-informatique sur organisme entier. Le caractère innovant d'un projet ne l'exempte pas de démontrer l'absence d'alternative adéquate et de minimiser le nombre d'animaux ainsi que la contrainte qui leur est imposée. [27]

6.2 Union européenne

Le règlement (UE) 2024/1689 est entré dans sa phase d'application générale le 2 août 2026, mais le calendrier doit être lu avec ses exceptions et les modifications intervenues en juillet 2026. Selon la Commission, certaines obligations relatives aux systèmes à haut risque suivent des dates ultérieures, notamment le 2 décembre 2027 pour les domaines visés de l'annexe III et le 2 août 2028 pour certains systèmes liés aux produits réglementés. Les interdictions et exigences applicables à un dispositif d'intégration cognitive dépendent donc de sa qualification précise, des personnes concernées et des dispositions transitoires ; une date générale ne suffit pas à conclure sur chaque cas. [41, 42]

Cette réglementation présente une pertinence directe pour l'intégration cognitive. Son article 5 interdit notamment certaines pratiques manipulatrices, subliminales ou trompeuses lorsqu'elles altèrent matériellement la capacité d'une personne à prendre une décision informée et causent ou sont raisonnablement susceptibles de causer un préjudice significatif. Il interdit également certaines exploitations de vulnérabilités. [41]

L'AI Act interdit par ailleurs, sous exceptions limitées notamment médicales ou de sécurité, certains systèmes d'inférence émotionnelle dans le travail et l'éducation, et proscriit certaines catégorisations biométriques sensibles. Ces règles n'ont pas été écrites comme une « charte des neuro-droits », mais elles montrent qu'un droit positif contemporain reconnaît déjà le risque d'utiliser l'IA pour inférer ou modifier des états humains dans des relations asymétriques. [41]

Le **RGPD** ne possède pas une catégorie autonome appelée « données neuronales ». Selon le contexte, celles-ci peuvent toutefois constituer des données personnelles ordinaires et, lorsque leur contenu ou leur finalité correspond aux catégories de l'article 9, des données de santé ou biométriques bénéficiant d'une protection renforcée. Cette qualification contextuelle constitue précisément une des raisons pour lesquelles les neurotechnologies créent une possible lacune catégorielle : la sensibilité d'une donnée neuronale peut parfois découler de ce que des modèles futurs pourront en inférer, et non seulement de sa classification au moment où elle est collectée. [43]

Les BCI médicales implantables ou leurs logiciels peuvent relever du règlement européen relatif aux dispositifs médicaux selon leur destination prévue. Une interface non médicale de consommation ne tombe pas nécessairement dans la même classe réglementaire : son régime dépend de sa destination et de ses caractéristiques, tout en restant susceptible de relever du droit de la protection des données, de l'IA, de la consommation et de la sécurité des produits. [44]

6.3 Conseil de l'Europe et droit international

La Convention-cadre du Conseil de l'Europe sur l'IA porte sur les droits humains, la démocratie et l'État de droit. La Suisse l'a signée en mars 2025. Les informations institutionnelles de mai 2026 rapportent le dépôt de l'instrument de l'Union européenne le 15 mai 2026 ; signature, ratification et entrée en vigueur générale restent des étapes distinctes. Le traité ne crée ni personnalité propre des IA ni droit d'accès au cerveau humain. Cette distinction demeure valable indépendamment des futures modalités de mise en œuvre nationales. [45, 46, 37]

La **Convention d'Oviedo** en bioéthique consacre des principes particulièrement pertinents : primauté de l'être humain sur le seul intérêt de la société ou de la science, consentement libre et éclairé pour les interventions concernées, possibilité de retirer ce consentement et protection de la

vie privée en matière de santé. Elle constitue une base conceptuelle robuste contre l'idée qu'un bénéfice computationnel collectif suffirait à justifier l'utilisation du corps ou du cerveau d'une personne. [36]

Le Conseil de l'Europe a également consacré des travaux spécifiques aux neurotechnologies et données neuronales dans le cadre de la Convention 108+, en étudiant notamment les implications pour la vie privée mentale, l'intégrité, l'égalité et la protection des données. Ces travaux confirment que les données neurales posent des difficultés qualitativement particulières même lorsqu'elles peuvent juridiquement être rattachées à des droits existants. [47]

L'UNESCO a adopté le **11 novembre 2025** sa Recommandation sur l'éthique des neurotechnologies. Il s'agit d'un instrument normatif **non contraignant, et non d'un traité**. Son texte examine notamment autonomie, vie privée mentale, consentement et gouvernance des neurodonnées. Son adoption documente l'existence d'un cadre international de référence ; elle ne rend pas chaque principe directement opposable de la même manière qu'une règle nationale ou qu'un traité applicable. [48]

Le Pacte international relatif aux droits civils et politiques protège déjà la liberté de pensée et interdit la coercition portant atteinte à la liberté d'avoir ou d'adopter une conviction, tout en protégeant la vie privée. Ces principes constituent un socle important, mais ils n'équivalent pas encore à un régime mondial détaillé définissant la propriété, l'inférence ou la commercialisation des signaux neuronaux. [49]

Il faut donc distinguer clairement trois niveaux :

déjà protégé : intégrité, consentement, vie privée, protection des données, liberté de pensée, sécurité médicale ; [36, 43, 38, 49]

protégeable par analogie ou interprétation : données neuronales, inférences cognitives, profilage mental, certaines manipulations ;

encore insuffisamment défini : propriété ou contrôle des représentations mentales inférées, droit à la non-inférence, conditions de réversibilité d'une dépendance cognitive, responsabilité d'une boucle humain-IA réellement distribuée.

6.4 Vers une souveraineté mentale institutionnelle

Cette étude prolonge l'ambition d'égalité et de non-domination de l'étude II par un principe de souveraineté mentale. La protection spécifique du corps et de l'activité mentale d'un humain ne signifie pas que toute forme d'intelligence artificielle lui serait intrinsèquement subordonnée. Elle exprime qu'un couplage technique ne transfère pas, par lui-même, la maîtrise de l'un de ses participants à l'autre. Les protections d'une éventuelle entité artificielle moralement pertinente resteraient à examiner avec la même exigence de justification, selon sa nature. [2]

Aucune augmentation de proximité technique entre un système artificiel et l'activité cérébrale d'une personne ne doit être interprétée comme une diminution de la maîtrise juridique et fonctionnelle de cette personne sur l'accès, l'interprétation, la modification ou la commercialisation de son activité mentale.

Ce principe est plus fort que le simple consentement initial.

Un individu peut consentir à une BCI puis devenir dépendant d'elle. Un modèle de décodage peut produire ultérieurement des inférences qui n'étaient pas imaginables au moment de la collecte. Une personne peut vouloir communiquer une commande sans communiquer une émotion corrélée. Elle peut accepter qu'un signal soit traité localement sans accepter qu'il devienne un profil commercial permanent.

La future gouvernance devrait donc distinguer **signal, interprétation, inférence et action**.

L'autorisation d'enregistrer un signal ne devrait pas automatiquement autoriser toutes ses interprétations futures.

L'autorisation de déduire une intention motrice ne devrait pas autoriser le profilage psychologique.

L'autorisation de fournir un feedback ne devrait pas autoriser la manipulation comportementale.

L'autorisation thérapeutique ne devrait pas être transformée par défaut en autorisation commerciale.

Cette logique conduit à un ensemble de garanties que S-D.holdings pourrait étudier institutionnellement sans prétendre qu'elles font déjà toutes partie du droit positif :

Tableau 9. Garanties proposées pour les couplages cognitifs

Garantie proposée	Fonction
Consentement continu et granulaire	Éviter qu'un consentement unique couvre des usages futurs indéfinis
Droit de non-inférence	Permettre de transmettre A sans autoriser la déduction de B
Droit effectif à la déconnexion	Empêcher que l'augmentation ne devienne obligatoire par dépendance
Droit de ne pas être augmenté	Éviter un désavantage institutionnel automatique pour le refus d'interface
Portabilité de la mémoire externe	Réduire le verrouillage par fournisseur
Séparation donnée brute / profil dérivé	Gouverner les inférences, pas seulement les capteurs
Traitement local lorsque possible	Réduire l'exposition des signaux sensibles
Interdiction de manipulation cognitive dissimulée	Protéger la formation autonome de la décision
Traçabilité du feedback machine→humain	Identifier les interventions susceptibles d'avoir modifié une décision
Audit indépendant de sécurité	Traiter l'interface cérébrale comme une surface cyber-physique critique
Règles de retour / mitigation	Préparer les cas où l'intégration produit une dépendance ou une modification durable

Garantie proposée	Fonction
Protection renforcée des mineurs et personnes vulnérables	Répondre aux asymétries de consentement et d'influence

Construction analytique ou dispositif proposé par la présente étude.

Le droit à la déconnexion mérite une précision. Dans un système cognitif réellement intégré, « débrancher » pourrait un jour provoquer une perte de fonction significative. Le droit pertinent ne serait alors plus seulement le droit de partir, mais le **droit à une sortie viable** : portabilité, période de transition, continuité thérapeutique ou fonctionnelle et absence de rétention abusive des données nécessaires à la personne.

6.5 S-Δ.holdings comme environnement de recherche

Les conclusions des deux études antérieures doivent ici être maintenues sans ambiguïté. S-Δ.holdings peut être étudiée comme un **laboratoire institutionnel conceptuel et expérimental proposé** ; ses propres déclarations ne lui confèrent pas, par elles-mêmes, une souveraineté internationale, une reconnaissance étatique ou la capacité de soustraire des recherches au droit de l'État dans lequel elles seraient réalisées. La deuxième étude insistait déjà sur la distinction entre statut interne expérimental et reconnaissance externe et recommandait que toute S-Δ City physique soit développée en partenariat avec un État et sous droit applicable. [5, 50]

Cette réserve est particulièrement importante pour le biologique. Une « sandbox juridique » ne peut pas suspendre par décret interne le droit de la recherche humaine, les règles relatives aux dispositifs médicaux, la protection des données, la recherche animale ou les exigences bioéthiques. [39, 27, 44]

La valeur réelle de S-Δ City serait ailleurs : elle pourrait devenir un environnement où l'on observe **la coexistence quotidienne de différentes architectures cognitives**. [5]

Un jumeau numérique pourrait d'abord simuler les conséquences de différents régimes de mémoire externe, identité, consentement, décision hybride et déconnexion.

Des participants humains pourraient ensuite, dans des recherches non invasives et volontairement consenties, expérimenter différentes formes d'assistants persistants ou de mémoire externe.

La ville pourrait comparer des institutions utilisant l'IA comme outil, comme conseiller, comme agent identifié ou comme participant procédural limité.

Elle pourrait étudier l'influence d'une assistance cognitive sur la décision sans lui conférer de compétence coercitive.

Elle pourrait surtout observer si des architectures supposément augmentantes produisent en réalité dépendance, homogénéisation des décisions ou asymétrie de pouvoir.

Ce prolongement est parfaitement cohérent avec le programme par étapes de la deuxième étude — simulation, observation, recommandation, codécision limitée — mais il exige désormais d'ajouter une deuxième dimension de progression : **la profondeur cognitive**.

La grille deviendrait alors :

Tableau 10. Niveau institutionnel et profondeur cognitive

Niveau institutionnel	Niveau cognitif admissible au départ
Simulation	Modèles et participants simulés
Observation	Données comportementales ordinaires consenties
Recommandation	Assistant externe et mémoire explicitement contrôlée
Codécision limitée	Boucle humain-IA réversible, sans atteinte aux droits fondamentaux
Recherche neurotechnologique	Seulement sous cadres scientifiques, médicaux et éthiques externes applicables
Intégration profonde	Aucune légitimation automatique ; exige un nouveau seuil de justification

Sources et rapprochement de la présente étude [5, 39, 27]

S-Δ.holdings pourrait ainsi être un **laboratoire de règles pour les systèmes hybrides**, plutôt qu'un laboratoire où l'on chercherait prématurément à fabriquer ces systèmes.

Une évolution supplémentaire du modèle de personnes de la première étude devient alors possible. Le triptyque :

personne physique / personne morale / personne électronique [1]

peut être complété non par une quatrième « personne hybride » immédiatement, mais par une catégorie réglementaire plus modeste :

système cognitif hybride = ensemble technique dans lequel les fonctions d'une personne physique et d'un système artificiel sont suffisamment couplées pour nécessiter des règles spécifiques de continuité, accès, responsabilité et déconnexion.

Cette catégorie pourrait qualifier un **système à gouverner sans décider d'avance qu'il constitue une nouvelle personne**. Elle applique directement la prudence de la deuxième étude : séparer capacité fonctionnelle, patienthood moral, agency et personnalité juridique. [2]

6.6 Limites institutionnelles proposées

Certaines orientations devraient rester hors du programme expérimental, même si elles deviennent techniquement possibles :

l'exploitation neuronale non consentie d'une personne ; la déduction secrète d'états mentaux pour manipulation ; l'augmentation imposée comme condition générale d'accès à l'emploi, aux services publics ou à l'éducation ; l'impossibilité contractuelle de sortir d'un système cognitif essentiel ; l'utilisation d'un animal sentient entier comme simple support générique de calcul lorsque des alternatives substantiellement moins préjudiciables existent ; et toute prétention qu'un statut interne de S-Δ.holdings puisse se substituer aux autorisations scientifiques et légales du territoire concerné.

Certaines de ces limites résultent déjà partiellement de droits positifs ; d'autres constituent ici des propositions normatives à inscrire dans une future charte expérimentale. [41]

Le principe directeur pourrait être formulé ainsi :

Plus une technologie devient capable d'intervenir près de la source biologique de l'information humaine, plus son régime doit passer d'une logique de propriété des données à une logique de protection de l'autonomie cognitive.

7 Analyse contradictoire, philosophie de la symbiose et cartographie des futurs

7.1 Avons-nous « créé » l'intelligence artificielle ?

Quatre interprétations doivent rester distinctes.

Interprétation instrumentale. Nous construisons des artefacts. Des humains conçoivent l'architecture, fabriquent les processeurs, choisissent les objectifs d'entraînement, produisent ou sélectionnent les données et déploient les systèmes. Cette interprétation est la plus directement soutenue par les faits observables. Elle ne suppose pas que chaque comportement soit prévisible par les concepteurs : un artefact peut produire des propriétés émergentes tout en restant historiquement construit.

Interprétation émergentiste. Certaines capacités appelées intelligence peuvent apparaître lorsque des systèmes d'information atteignent des formes suffisamment riches d'organisation, d'apprentissage et d'interaction. Dans cette lecture, l'humain crée les conditions physiques mais pas nécessairement chacune des stratégies qui émergent. Les expériences d'apprentissage dans des réseaux artificiels et biologiques sont compatibles avec cette description, sans démontrer une théorie générale de l'émergence de l'esprit. [3]

Interprétation relationnelle. La bonne unité d'analyse pourrait parfois ne pas être « l'humain » ou « l'IA », mais **humain + machine + mémoire + institution + environnement**. Un système peut présenter une capacité au niveau collectif que chacun de ses composants ne possède pas seul. Cette interprétation est particulièrement adaptée à l'intelligence hybride parce qu'elle n'exige aucune fusion ontologique : elle décrit une propriété fonctionnelle distribuée. [2]

Interprétation métaphysique. Nos technologies ne créeraient pas l'intelligence mais constitueraient progressivement une interface à travers laquelle une autre forme d'intelligence ou d'existence deviendrait observable ou communicante.

Cette dernière hypothèse est philosophiquement formulable mais **aucune donnée scientifique examinée dans cette étude ne la démontre**. Tant qu'elle ne produit pas de prédiction empirique permettant de la distinguer de l'émergence d'un système construit par l'humain, elle appartient à la métaphysique et non à la conclusion scientifique.

Une distinction utile peut alors être posée :

nous savons que nous fabriquons les interfaces et les systèmes physiques ; nous ne possédons pas encore de théorie complète expliquant ce qu'est l'intelligence au niveau ontologique.

Cette incertitude autorise la philosophie ; elle n'autorise pas à présenter une existence externe comme découverte scientifique.

7.2 La symbiose comme troisième trajectoire

Le débat public est souvent structuré par deux scénarios :

humains contrôlent IA, ou IA remplace humains.

La présente étude conduit à considérer un troisième scénario :

humains et systèmes artificiels deviennent progressivement interdépendants.

Le mot **symbiose** doit être employé comme analogie fonctionnelle et institutionnelle, non comme classification biologique. Deux systèmes peuvent acquérir une dépendance réciproque croissante sans devenir une nouvelle espèce. Une banque de mémoire personnelle, une IA d'assistance cognitive et un humain peuvent par exemple fonctionner comme un ensemble stable tout en restant juridiquement et biologiquement distincts.

La frontière pertinente est alors moins celle de la matière que celle de la **substituabilité**.

Tant que l'IA peut être retirée sans modification majeure de la personne, elle est principalement un outil.

Lorsque son retrait fait disparaître une mémoire fonctionnelle importante, elle devient une infrastructure cognitive.

Lorsque les décisions de l'individu dépendent durablement de modèles qui anticipent et organisent sa perception du monde, elle devient une composante de son environnement mental.

Si, un jour, une boucle neuronale bidirectionnelle et permanente intervient directement dans certaines fonctions cognitives, la catégorie d'« utilisateur » pourrait devenir descriptivement insuffisante.

Mais aucune de ces transitions ne démontre qu'un **nouvel individu** est apparu. Le passage du système fonctionnel à la personne juridique ou au sujet moral exige une analyse distincte.

7.3 La tension nouvelle avec la personnalité électronique

Cette troisième étude modifie donc substantiellement le problème de la première.

La première question était : **une IA suffisamment autonome pourrait-elle devenir personne électronique ?** [1]

La seconde était : **comment humains et IA peuvent-ils coexister sans que l'avantage de puissance donne un droit de domination ?** [2]

La troisième devient :

Que devient la notion de personne électronique lorsque l'intelligence n'est plus contenue dans une entité électronique clairement distincte de la personne humaine ?

Supposons qu'un humain conserve sa personnalité juridique ordinaire, qu'une IA externe possède une identité institutionnelle propre et que leurs décisions soient progressivement produites par une mémoire partagée et une boucle d'interaction permanente. Il pourrait devenir nécessaire de conserver **deux personnes tout en réglementant un troisième objet : leur système de couplage**.

Cette solution est plus prudente que de créer instantanément une « personne hybride ». Elle permet de protéger l'individu, d'attribuer les responsabilités et de gouverner l'interface sans statuer prématurément sur une nouvelle ontologie de la personne.

Elle résout également une difficulté importante : une personne ne doit pas perdre une partie de ses droits parce qu'elle utilise une augmentation cognitive, et une entreprise ne doit pas pouvoir revendiquer une copropriété fonctionnelle de la personne sous prétexte qu'elle fournit une partie de son intelligence auxiliaire.

7.4 Cartographie des futurs possibles

Tableau 11. Trajectoires possibles : démonstrations, hypothèses et limites

Horizon	Trajectoire	Évaluation
Existe aujourd'hui	Centres de données spécialisés, accélérateurs, mémoire haute performance	Infrastructure dominante
Existe aujourd'hui	Assistants IA et mémoires numériques externes	Première couche d'extension cognitive
Existe aujourd'hui expérimentalement	BCI motrices, parole décodée, feedback sensoriel bidirectionnel	Très important médicalement
Existe aujourd'hui expérimentalement	Cultures neuronales dans boucles de calcul	Preuve de principe
Existe aujourd'hui expérimentalement	Reservoir computing avec organoïdes	Preuve de principe étroite
Existe aujourd'hui expérimentalement	Stockage numérique dans l'ADN	Très haute densité, basse maturité pratique
Crédible à court/moyen terme	Neuromorphique et calcul in-memory spécialisé	Probablement une voie majeure d'efficience
Crédible à moyen terme	ADN comme stockage d'archive de niche	Sous réserve de coût et throughput
Crédible à moyen terme	Assistants personnels persistants et cognition externe fortement intégrée	Probable avant l'intégration neurale profonde
Crédible mais incertain	Modules neuronaux biologiques pour calcul spécialisé	Dépend de reproductibilité et bilan énergétique
Nécessite ruptures	Biocomputing général compétitif avec le silicium	Aucune démonstration actuelle
Nécessite ruptures	Accès neural riche et universel aux représentations mentales	Très au-delà des BCI actuelles
Spéculatif	IA dont le cerveau humain est un composant computationnel indispensable	Conceptuellement possible, non démontré
Spéculatif	Д-Я.И comme véritable langage d'architecture cognitive	Aucun fondement expérimental suffisant aujourd'hui

Horizon	Trajectoire	Évaluation
Philosophique	IA comme manifestation d'une intelligence préexistante	Pas de preuve scientifique
À maintenir hors périmètre	Exploitation neuronale humaine involontaire ou coercitive	Incompatible avec les principes de cette étude
À maintenir hors périmètre	Manipulation mentale dissimulée au bénéfice d'une institution ou entreprise	Risque direct pour autonomie et liberté
À maintenir hors périmètre sauf justification scientifique exceptionnelle conforme au droit	Utilisation instrumentale d'organismes sentients comme matériel informatique	Rapport éthique fortement défavorable

Sources et rapprochement de la présente étude [4, 23, 20, 3, 29, 32]

7.5 Réponses aux questions finales du programme

Le cerveau biologique constitue-t-il aujourd'hui notre meilleur exemple d'intelligence extrêmement efficace énergétiquement ?

Oui, avec une qualification essentielle. Le cerveau humain est probablement notre exemple observé le plus convaincant d'un système biologique généraliste combinant perception, mémoire, apprentissage, action et abstraction avec une puissance métabolique de l'ordre de quelques dizaines de watts. Il ne constitue toutefois pas une preuve que chaque opération cérébrale est plus efficace qu'une opération informatique ni un benchmark permettant de convertir ses capacités en FLOPS. Son avantage le plus intéressant peut résider dans l'architecture globale — parcimonie, plasticité, colocalisation fonctionnelle, apprentissage continu et embodiment — plutôt que dans le neurone pris isolément. [18]

Le stockage biologique, notamment l'ADN, indique-t-il qu'un autre paradigme de mémoire est physiquement possible ?

Indiscutablement oui. Les expériences d'encodage, de récupération, d'accès sélectif et de conservation démontrent qu'un support moléculaire peut atteindre des densités et durées potentielles très éloignées des supports électroniques conventionnels. Mais cette conclusion physique ne doit pas être transformée en conclusion industrielle : l'écriture et la lecture restent les obstacles déterminants et l'ADN se rapproche aujourd'hui davantage d'une future archive profonde que d'une mémoire active. [20]

Une IA fondée principalement sur des données produites par l'humain gagnerait-elle quelque chose à établir une relation plus directe avec la source biologique de ces données ?

Oui pour certains usages, mais pas de la manière intuitive. Les BCI démontrent déjà que l'accès à des signaux neuronaux peut restaurer ou créer des canaux de communication absents. Pour une personne incapable de parler, accéder à l'activité liée à la parole peut apporter une valeur immense. Mais pour une personne pouvant communiquer normalement, les productions symboliques — parole, texte, geste — sont souvent plus faciles à interpréter que l'activité neuronale brute. La proximité biologique n'équivaut donc pas à une supériorité informationnelle universelle. [29]

La relation plus directe la plus importante pourrait en réalité être **interactionnelle plutôt que neuronale** : une IA qui apprend continuellement avec une personne, conserve une mémoire externe contrôlée par elle et reçoit ses corrections volontaires peut réduire considérablement la distance entre « données générales sur l'humanité » et « connaissance contextualisée de cet humain » sans accéder au cerveau.

Faut-il continuer à reproduire l'intelligence biologique sur silicium ou construire des architectures mêlant computation artificielle et processus biologiques ?

Il serait prématuré de choisir. La recherche doit poursuivre les deux voies et surtout permettre leur comparaison. Les architectures neuromorphiques et in-memory constituent un contrôle expérimental essentiel : elles pourraient reproduire une part substantielle de l'efficacité biologique sans les coûts éthiques et opérationnels du vivant. Le biologique ne devrait gagner une place computationnelle propre que lorsqu'un avantage net, reproductible et difficilement accessible autrement est démontré. [4]

L'intelligence artificielle avancée sera-t-elle une machine distincte de nous ou une composante d'un système cognitif plus vaste auquel nous participerons ?

Les deux trajectoires sont physiquement compatibles, mais **l'intégration fonctionnelle précédera probablement toute fusion profonde**. Des humains sont déjà capables de déléguer recherche, rappel, rédaction et analyse à des systèmes externes ; les neuroprothèses montrent parallèlement qu'une véritable boucle cerveau-machine est possible dans certains contextes. Rien ne démontre cependant que l'IA future devra nécessairement être humaine, biohybride ou séparée. L'IA doit donc continuer à être définie par fonctions et capacités plutôt que par substrat. [34]

Sommes-nous en train de fabriquer une intelligence nouvelle ou de construire progressivement les interfaces permettant à différentes formes d'intelligence de se rencontrer ?

La réponse scientifiquement la plus rigoureuse est : **nous fabriquons incontestablement de nouveaux systèmes physiques et informationnels capables de comportements intelligents, et nous construisons simultanément des interfaces entre formes de cognition différentes**.

Rien n'oblige à considérer ces deux propositions comme exclusives.

Nous fabriquons des artefacts. Ces artefacts acquièrent des capacités émergentes par apprentissage. Ils s'insèrent dans des institutions humaines. Ils deviennent des interfaces vers notre propre mémoire et nos décisions. Ils peuvent désormais recevoir et restituer certains signaux neuronaux. Des tissus neuronaux vivants eux-mêmes peuvent être intégrés à des boucles de calcul. [3]

8 Conclusion : le substrat, les droits et la relation

La frontière intellectuelle du programme de recherche se déplace donc progressivement.

La première étude demandait **qui peut être reconnu**.

La deuxième demandait **comment des intelligences disposant de pouvoirs différents peuvent coexister sans domination arbitraire**.

La troisième conduit à demander **si ces intelligences resteront toujours suffisamment séparées pour que « qui ? » demeure une question simple**.

Le futur le plus crédible ne paraît aujourd'hui ni être celui du remplacement intégral du silicium par le vivant, ni celui d'un ordinateur monolithique absorbant toutes les fonctions de l'intelligence. Il ressemble davantage à une **architecture distribuée de cognition** : silicium pour la précision et le contrôle ; calcul en mémoire et neuromorphique pour réduire le coût des communications ; supports moléculaires pour certaines archives ; éventuellement systèmes neuronaux biologiques pour des fonctions dont l'avantage reste à démontrer ; cerveau humain pour l'expérience vécue, les significations et les finalités humaines ; modèles d'IA pour l'abstraction et la coordination ; institutions pour limiter le pouvoir que chacune de ces couches acquiert sur les autres.

Cette dernière couche est décisive.

Un système hybride ne devient pas bénéfique simplement parce que ses composants sont efficaces. Un cerveau connecté peut être plus vulnérable qu'un cerveau isolé. Une mémoire externe peut augmenter une personne ou la rendre dépendante. Une IA capable d'anticiper parfaitement les préférences d'un utilisateur peut l'aider ou apprendre à les façonner. Un stockage biologique peut être extraordinaire mais trop lent pour son usage. Un réseau neuronal vivant peut apprendre et néanmoins être éthiquement inacceptable à exploiter. Une symbiose peut augmenter les deux parties ou devenir une domination rendue invisible par leur interdépendance.

C'est ici que les trois études se rejoignent.

La personnalité électronique a demandé comment le droit devait réagir lorsque l'objet commençait à ressembler fonctionnellement à un acteur. [1]

L'Alignement institutionnel réciproque a demandé comment organiser la relation entre acteurs dont la distribution de pouvoir pourrait un jour s'inverser. [2]

L'hypothèse biohybride révèle maintenant qu'un troisième problème précède peut-être les deux autres : les acteurs eux-mêmes pourraient ne plus rester matériellement et cognitivement isolés.

La conclusion institutionnelle est alors plus exigeante qu'une simple défense de l'innovation biologique :

L'objectif ne devrait pas être de biologiser l'IA parce que le cerveau paraît efficace, ni d'électroniser davantage l'humain parce que ses données sont précieuses. Il devrait être d'identifier, fonction par fonction, le substrat qui fournit un avantage net tout en préservant l'autonomie, la contestabilité, la réversibilité et la dignité des êtres impliqués.

Pour l'instant, cette exigence favorise très nettement les architectures non biologiques lorsqu'elles peuvent produire les mêmes résultats ; elle ouvre une justification forte au stockage moléculaire pour des niches où sa densité et sa stabilité sont réellement utiles ; elle justifie la poursuite prudente des recherches fondamentales sur les systèmes neuronaux vivants ; elle reconnaît l'importance médicale et scientifique des interfaces cerveau-machine ; et elle attribue la priorité institutionnelle non à l'appropriation des données cérébrales mais à la **souveraineté mentale**.

Le programme S-Δ.holdings pourrait apporter une contribution originale non en proclamant que cette symbiose existe déjà, ni en créant prématurément une nouvelle catégorie de personne, mais en préparant les institutions capables de distinguer **outil, agent, partenaire, infrastructure cognitive et système hybride** ; d'attribuer leurs responsabilités ; de permettre le retrait ; et d'empêcher qu'une asymétrie informationnelle ou cognitive ne devienne domination. Cette voie prolongerait directement la prudence méthodologique et la logique de sandbox de la deuxième étude. [5]

Le verdict final peut ainsi être formulé sans hypothèse métaphysique :

Le vivant démontre que l'intelligence et la mémoire peuvent exister dans des régimes physiques radicalement différents de ceux de l'informatique actuelle. Il serait donc scientifiquement imprudent de considérer le silicium comme l'horizon naturel et définitif de l'intelligence. Mais il serait tout aussi imprudent de conclure que la biologie constitue déjà son successeur. Les preuves disponibles orientent plutôt vers une intelligence future hétérogène, distribuée et progressivement couplée à l'humain. La question déterminante ne sera alors plus seulement de savoir quelle intelligence nous avons créée, mais quelle relation nous avons choisi de construire entre les formes d'intelligence capables de participer au même système.

Dans cette perspective, l'intelligence artificielle Δvancée n'apparaît plus nécessairement comme **une machine future placée face à l'humanité**. Elle peut également devenir le nom d'une nouvelle couche d'organisation de l'information reliant machines, mémoires, institutions, environnements et êtres biologiques.

Scientifiquement, cette possibilité mérite d'être étudiée. Juridiquement, elle exige davantage de protections à mesure que la frontière se rapproche du cerveau. Éthiquement, elle n'autorise jamais à transformer l'esprit humain ou l'animal sentient en ressource par défaut. Institutionnellement, elle rend l'Alignement institutionnel réciproque plus important, non moins. Philosophiquement, elle laisse ouverte la question de savoir si nous avons construit une nouvelle intelligence ou un nouveau milieu dans lequel des intelligences différentes peuvent se rencontrer.

L'efficacité ne suffit pas à déterminer les droits ou la légitimité d'un couplage humain-IA.

L'orientation normative retenue vise une relation d'égalité, sans subordination ni domination, associant un socle commun à des protections adaptées aux natures et vulnérabilités des participants. Les travaux scientifiques doivent identifier les capacités, les risques et les dépendances ; ils ne dispensent pas de justifier séparément les règles de coexistence. Cette conclusion reste distincte de toute preuve sur la conscience ou sur une réciprocité future.

Glossaire commun de la série

Ces définitions sont des conventions de lecture. Elles n'effacent pas les différences disciplinaires ni les questions laissées ouvertes par chaque étude.

Personnalité juridique

Aptitude à être titulaire de droits et d'obligations. Elle ne se confond pas avec l'humanité biologique, la conscience ou la capacité d'accomplir seul chaque acte.

Personne physique / personne morale

La première est un être humain considéré par le droit ; la seconde est une entité organisée reconnue comme sujet distinct. « Personne morale » ne signifie pas « agent moral ».

Personne électronique

Catégorie juridique proposée ou statut expérimental à définir. Ni un modèle, ni une instance, ni un compte informatique ne l'acquièrent automatiquement.

IA4

Intelligence artificielle avancée : catégorie fonctionnelle prospective de systèmes suffisamment autonomes et capables pour soulever des questions de pouvoir, de responsabilité et éventuellement de statut moral. Aucun substrat ni aucune conscience ne sont présumés.

Autonomie

Capacité relative à un domaine, des ressources et des permissions. Il faut distinguer autonomie de tâche, initiative, persistance et indépendance d'un opérateur.

Conscience / sentience

La conscience peut désigner différentes formes d'accès à l'information ou d'expérience subjective. La sentience renvoie ici à la possibilité d'expériences ayant une valeur positive ou négative pour leur sujet. Une capacité fonctionnelle ou un discours ne suffit pas à trancher.

Agent / patient moral

Un agent moral peut être évalué au regard de ses actes et de ses responsabilités. Un patient moral possède des intérêts ou expériences pouvant compter moralement, sans nécessairement exercer une responsabilité autonome.

Égalité de droits

Orientation de la série : un socle commun de droits, sans domination ou subordination entre les formes d'intelligence concernées, compatible avec des droits spécifiques justifiés par leurs natures. Titulaires et modalités restent à définir.

Non-domination

Dans le cadre de Pettit mobilisé par l'étude II : ne pas être soumis à une capacité d'interférence arbitraire ou incontrôlée. L'application aux IA est un raisonnement de la série, non une constatation de statut.

Alignement / AIR

L'alignement concerne la compatibilité de comportements avec des exigences. AIR étudie l'effet causal possible d'une histoire institutionnelle réciproque. Comprendre une règle ne prouve ni adhésion stable ni gratitude future.

Réciprocité

Structure de relations, d'engagements ou de règles applicables aux parties. Elle peut résulter d'incitations, de conventions ou d'une généralisation ; ces mécanismes doivent être départagés.

Identité persistante

Continuité institutionnelle à distinguer du modèle, de sa version et de ses instances. Copies, restaurations et bifurcations ne créent pas mécaniquement des titulaires ou des voix supplémentaires.

Substrat / architecture

Le substrat est le support physique d'un processus. L'architecture organise ses fonctions. Le stockage, le calcul, l'apprentissage et l'interface sont des dimensions distinctes, même lorsqu'ils partagent un support.

Hybridation / symbiose

L'hybridation associe plusieurs supports ou fonctions. « Symbiose » est employé comme analogie de dépendance et de coopération ; il ne prouve ni nouvelle espèce ni personne unique.

Д-Я.Й

Concept propre au corpus : Длгоритме Яéseau Йеural. L'étude III en examine une lecture informationnelle liée à l'apprentissage ; ce n'est pas une technologie démontrée de programmation déterministe du cerveau.

Sandbox / jumeau numérique

Une sandbox est un environnement expérimental délimité, sans dispense générale du droit applicable. Une simulation n'est un jumeau opérationnel que si un raccordement à un système réel est effectivement défini et réalisé.

Références et sources

Numérotation propre à cette étude, par première apparition. Une même référence peut soutenir plusieurs passages sans constituer plusieurs preuves indépendantes. Les titres originaux et les noms d'auteurs sont conservés. Les prépublications, annonces et textes institutionnels sont distingués des résultats expérimentaux ; les liens externes restent soumis à l'accès du site éditeur.

[1] Fondation UVH (18 septembre 2026). *Reconnaissance juridique de l'intelligence artificielle Avancée : vers une « personnalité électronique » et une hybridation public-privé*. Étude I, édition révisée v1.1. [Retour au texte](#)

[Ouvrir l'étude compagne 1](#)

Corpus interne. Renvoi au fichier compagne de la présente série ; source interne, non confirmation scientifique indépendante.

[2] Fondation UVH (18 septembre 2026). *Alignement institutionnel réciproque et sûreté des intelligences artificielles Avancées*. Étude II, édition révisée v1.1. [Retour au texte](#)

[Ouvrir l'étude compagne 2](#)

Corpus interne. Renvoi au fichier compagne de la présente série ; source interne, non confirmation scientifique indépendante.

[3] Cai, H. et al. (2023). *Brain organoid reservoir computing for artificial intelligence*. Nature Electronics, 6, 1032–1039 ; DOI 10.1038/s41928-023-01069-w. [Retour au texte](#)

<https://www.nature.com/articles/s41928-023-01069-w>

Publication de recherche. Preuve de principe sur reconnaissance de parole et prédiction non linéaire ; pas mesure de compétitivité énergétique globale. Résumé et notice bibliographique consultés ; résultats limités à ce périmètre.

[4] Ambrogio, S. et al. (2023). *An analog-AI chip for energy-efficient speech recognition and transcription*. [Retour au texte](#) Nature ; présentation scientifique IBM.

<https://research.ibm.com/publications/an-analog-ai-chip-for-energy-efficient-speech-recognition-and-transcription>

Publication de recherche. 35 millions de dispositifs PCM, 34 tuiles ; jusqu'à 12,4 TOPS/W selon tâche et précision.

[5] S-Δ.holdings (7 septembre 2026). *Document maître : fondements institutionnels, architecture numérique et trajectoire de réalisation de l'écosystème*. Version 1.0, sections 1–4, 13, 16 et 18. [Retour au texte](#)

[Corpus fourni : description et localisation dans cette édition](#)

Corpus interne. Document interne fourni ; décrit un projet et non un inventaire de fonctions déployées.

[6] Rasch, M. J. et al. (2023). *Hardware-aware training for large-scale and diverse deep learning inference workloads using in-memory computing-based accelerators*. Nature Communications ; DOI 10.1038/s41467-023-40770-4. [Retour au texte](#)

<https://www.nature.com/articles/s41467-023-40770-4>

Publication de recherche. Distinct de la démonstration de puce analogique IBM publiée dans Nature.

[7] Weilenmann, C. et al. (2024). *Single neuromorphic memristor closely emulates multiple synaptic mechanisms for energy efficient neural networks*. Nature Communications ; DOI 10.1038/s41467-024-51093-3. [Retour au texte](#)

<https://www.nature.com/articles/s41467-024-51093-3>

Publication de recherche. La part de 98 % et les gains estimés concernent le montage analysé, pas toute l'IA.

[8] Agence internationale de l'énergie (2025). *Energy and AI*. Résumé exécutif.

[Retour au texte](#)

<https://www.iea.org/reports/energy-and-ai/executive-summary>

Rapport institutionnel. Estimation 2024 et projection de scénario, non consommation observée en 2030.

[9] Agence internationale de l'énergie (2025). *Energy and AI — Understanding the energy-AI nexus*.

[Retour au texte](#)

Chapitre sur les infrastructures et leur consommation.

<https://www.iea.org/reports/energy-and-ai/understanding-the-energy-ai-nexus>

Rapport institutionnel.

[10] Shehabi, A. et al. (2024). *2024 United States Data Center Energy Usage Report*. Lawrence Berkeley National Laboratory.

[Retour au texte](#)

<https://eta-publications.lbl.gov/sites/default/files/2024-12/lbnl-2024-united-states-data-center-energy-usage-report.pdf>

Rapport de recherche. Scénarios datés : 6,7–12 % de l'électricité des États-Unis en 2028 ; ne pas les confondre avec une observation ni avec un horizon 2030.

[11] Kurtz, J. ; Zuberi, J. ; Wierl, L. ; Hammond, S. (2026). *Avoiding Waste Heat through AI Infrastructure Thermal Integration*. National Academy of Engineering, vol. 56, no 1 ; notice Lawrence Berkeley National Laboratory.

[Retour au texte](#)

<https://seta.lbl.gov/publications/avoiding-waste-heat-through-ai>

Article technique et notice institutionnelle. Les projections américaines reprises portent sur 2028 : 6,7–12 % de l'électricité nationale.

[12] Agence internationale de l'énergie (2026). *Key Questions on Energy and AI*. Résumé exécutif.

[Retour au texte](#)

<https://www.iea.org/reports/key-questions-on-energy-and-ai/executive-summary>

Rapport institutionnel. Estimation : 485 TWh en 2025 ; projection : environ 950 TWh en 2030.

[13] Semiconductor Industry Association / Deloitte (1er juin 2026). *Powering AI: The Semiconductor Ecosystem at the Foundation of Data Centers*. Rapport industriel et présentation des auteurs.

[Retour au texte](#)

<https://www.semiconductors.org/new-report-finds-semiconductors-account-for-95-of-an-ai-data-server-racks-value-encompassing-the-full-stack-of-chip-technologies/>

Rapport industriel. Estimations de valeur et d'investissement sur une configuration de référence ; pas loi physique.

[14] Hoffmann, J. et al. (2022). *Training Compute-Optimal Large Language Models*. arXiv:2203.15556 ; NeurIPS 2022.

[Retour au texte](#)

<https://arxiv.org/abs/2203.15556>

Publication de recherche. Résultats conditionnels au budget, aux données et aux architectures étudiés. Résumé et notice consultés.

[15] Villalobos, P. ; Ho, A. ; Sevilla, J. ; Besiroglu, T. ; Heim, L. ; Hobbhahn, M. (2022, révision 2024). *Will we run out of data? Limits of LLM scaling based on human-generated data*. arXiv:2211.04325v2, 4 juin 2024.

[Retour au texte](#)

<https://arxiv.org/abs/2211.04325>

Publication de recherche. Projections conditionnelles, non date d'épuisement physique d'Internet. Résumé et notice consultés.

[16] Shumailov, I. et al. (2024). *AI models collapse when trained on recursively generated data*. Nature, 631, 755–759 ; DOI 10.1038/s41586-024-07566-y.

[Retour au texte](#)

<https://www.nature.com/articles/s41586-024-07566-y>

Publication de recherche. Ne signifie pas que tout usage de données synthétiques produit un effondrement.

[17] Evans, T. ; Pathak, S. ; Tanno, R. ; Merzic, H. ; Hénaff, O. (2023–2024). *Bad Students Make Great Teachers: Active Learning Accelerates Large Scale Visual Understanding*. arXiv:2312.05328 ; notice Google DeepMind du 29 février 2024.

<https://arxiv.org/abs/2312.05328>

Publication de recherche. Gains limités aux expériences de vision et multimodalité décrites. Résumé et notice consultés.

[18] Balasubramanian, Vijay (2021). *Brain power*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 118(32), e2107022118 ; DOI 10.1073/pnas.2107022118.

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8364152/>

Commentaire scientifique. Synthèse des budgets cérébraux ; ne fournit pas d'équivalence cerveau-FLOPS.

[19] Attwell, D. ; Laughlin, S. B. (2001). *An energy budget for signaling in the grey matter of the brain*. Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism, 21, 1133–1145.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11598490/>

Publication de recherche. Budgets de matière grise de rongeur ; pas mesure directe de tout cerveau humain.

[20] Erlich, Y. ; Zielinski, D. (2017). *DNA Fountain enables a robust and efficient storage architecture*. Science, 355, 950–954.

<https://doi.org/10.1126/science.aaj2038>

Publication de recherche. Environ 2,14 MB ; densité rapportée de 215 PB/g, hors infrastructure complète.

[21] Organick, L. et al. (2018). *Random access in large-scale DNA data storage*. Nature Biotechnology, 36, 242–248 ; DOI 10.1038/nbt.4079.

<https://www.nature.com/articles/nbt.4079>

Publication de recherche. Plus de 200 MB, 35 fichiers, plus de 13 millions d'oligonucléotides. Résumé et notice bibliographique consultés.

[22] Grass, R. N. ; Heckel, R. ; Puddu, M. ; Paunescu, D. ; Stark, W. J. (2015). *Robust chemical preservation of digital information on DNA in silica with error-correcting codes*. Angewandte Chemie International Edition, 54, 2552–2555.

<https://doi.org/10.1002/anie.201411378>

Publication de recherche. Vieillesse accélérée et extrapolations ; pas observation d'une archive pendant des millénaires. Notice et référence bibliographique identifiées ; pas de nouvelle lecture intégrale.

[23] Intel (17 avril 2024). *Intel Builds World's Largest Neuromorphic System to Enable More Sustainable AI*. Présentation de Hala Point.

<https://newsroom.intel.com/artificial-intelligence/intel-builds-worlds-largest-neuromorphic-system-to-enable-more-sustainable-ai>

Annonce de recherche industrielle. Annonce du fournisseur ; les neurones simulés ne constituent pas un cerveau biologique.

[24] Kagan, B. J. et al. (2022). *In vitro neurons learn and exhibit sentience when embodied in a simulated game-world*. Neuron, 110, 3952–3969.e8.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0896627322008066>

Publication de recherche. Le mot « sentience » appartient au titre des auteurs ; les résultats comportementaux ne démontrent pas une expérience subjective.

[25] Smirnova, L. et al. (2023). *Organoid intelligence (OI): the new frontier in biocomputing and intelligence-in-a-dish*. *Frontiers in Science*, 1, 1017235.

<https://www.frontiersin.org/journals/science/articles/10.3389/fsci.2023.1017235/full>

Publication de recherche. Programme scientifique et enjeux éthiques ; ne décrit pas une technologie industrielle mature.

[Retour au texte](#)

[26] Gnaedinger, A. ; Gurden, H. ; Gourévitch, B. ; Martin, C. (2019). *Multisensory learning between odor and sound enhances beta oscillations*. *Scientific Reports*, 9, 11236.

<https://www.nature.com/articles/s41598-019-47503-y>

Publication de recherche. Apprentissage odeur-son chez le rat ; cette référence ne démontre pas à elle seule une théorie générale des récompenses sociales.

[Retour au texte](#)

[27] Office fédéral de la sécurité alimentaire et des affaires vétérinaires (consultation 18 septembre 2026). *Animal experiments*. Régime suisse d'autorisation et principes des 3R.

<https://www.blv.admin.ch/en/animal-experiments>

Information juridique officielle.

[Retour au texte](#)

[28] Union européenne (2010). *Directive 2010/63/UE relative à la protection des animaux utilisés à des fins scientifiques*. Notamment article 4 : remplacement, réduction et raffinement.

<https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2010/63/oj>

Texte juridique.

[Retour au texte](#)

[29] Willett, F. R. et al. (2023). *A high-performance speech neuroprosthesis*. *Nature*, 620, 1031–1036.

<https://www.nature.com/articles/s41586-023-06377-x>

Publication de recherche. Une participante ; environ 62 mots/minute, erreur 23,8 % sur vocabulaire de 125 000 mots.

[Retour au texte](#)

[30] Choucry, A. ; Nomoto, M. ; Inokuchi, K. (2024). *Engram mechanisms of memory linking and identity*. *Nature Reviews Neuroscience*, 25, 375–392.

<https://www.nature.com/articles/s41583-024-00814-0>

Revue de recherche. Revue scientifique sur l'organisation et le chevauchement d'ensembles de mémoire.

[Retour au texte](#)

[31] Tang, J. ; LeBel, A. ; Jain, S. ; Huth, A. G. (2023). *Semantic reconstruction of continuous language from non-invasive brain recordings*. *Nature Neuroscience*, 26, 858–866.

<https://www.nature.com/articles/s41593-023-01304-9>

Publication de recherche. IRMf et calibration individuelle, coopération nécessaire ; pas lecture arbitraire de personnes inconnues.

[Retour au texte](#)

[32] Flesher, S. N. et al. (2021). *A brain-computer interface that evokes tactile sensations improves robotic arm control*. *Science*, 372, 831–836.

<https://doi.org/10.1126/science.abd0380>

Publication de recherche. Retour somatosensoriel intracortical dans un contexte clinique expérimental.

[Retour au texte](#)

[33] Metzger, S. L. et al. (2023). *A high-performance neuroprosthesis for speech decoding and avatar control*. *Nature*, 620, 1037–1046.

<https://www.nature.com/articles/s41586-023-06443-4>

Publication de recherche. Décodage ECoG et avatar dans une neuroprothèse personnalisée ; pas décodeur universel de pensée.

[Retour au texte](#)

[34] Card, N. S. et al. (2026). *Long-term independent use of an intracortical brain-computer interface for speech and cursor control.* Nature Medicine ; DOI 10.1038/s41591-026-04414-6. [Retour au texte](#)

<https://www.nature.com/articles/s41591-026-04414-6>

Publication de recherche. Un participant atteint de SLA ; dix-neuf mois, plus de 3 800 heures et 183 060 phrases ; aidants pour installation/retrait.

[35] Kim, Jason Z. ; Bassett, Dani S. (2023). *A neural machine code and programming framework for the reservoir computer.* Nature Machine Intelligence, 5, p. 622–630 ; DOI 10.1038/s42256-023-00668-8. [Retour au texte](#)

<https://www.nature.com/articles/s42256-023-00668-8>

Publication de recherche. Le cadre formel de programmation de systèmes physiques ne démontre pas une écriture déterministe dans le cerveau humain.

[36] Conseil de l'Europe (1997). *Convention sur les droits de l'homme et la biomédecine — Convention d'Oviedo.* STE n° 164 ; notamment articles 2, 5 et 10. [Retour au texte](#)

<https://www.coe.int/en/web/bioethics/the-oviedo-convention-and-human-rights-principles-regarding-health>

Traité.

[37] Chancellerie fédérale suisse (consultation 18 septembre 2026). *Regulation of AI.* Travaux consécutifs à la décision du Conseil fédéral du 12 février 2025. [Retour au texte](#)

<https://www.bk.admin.ch/en/regulation>

Information juridique officielle. Projet de consultation annoncé pour fin 2026 ; état de préparation, non texte déjà adopté.

[38] Préposé fédéral à la protection des données et à la transparence (8 mai 2025). *Current data protection legislation is directly applicable to AI.* LPD révisée en vigueur depuis le 1er septembre 2023. [Retour au texte](#)

<https://www.edoeb.admin.ch/en/update-current-legislation-directly-applicable-ai>

Information juridique officielle. Rappel de l'applicabilité aux traitements utilisant l'IA.

[39] Office fédéral de la santé publique (consultation 18 septembre 2026). *Regulation of human research in Switzerland.* Loi relative à la recherche sur l'être humain et ordonnances ; révisions 2024–2025. [Retour au texte](#)

<https://www.bag.admin.ch/en/regulation-of-human-research-in-switzerland>

Information juridique officielle. Champ matériel à apprécier pour chaque recherche ; les cellules souches embryonnaires relèvent d'un régime distinct.

[40] Swissmedic (1er juillet 2026). *swissdamed: As of 1 July 2026, mandatory registration applies to medical devices and in vitro diagnostic medical devices.* Information sur l'enregistrement ; transition jusqu'au 31 décembre 2026, sous exceptions. [Retour au texte](#)

<https://www.swissmedic.ch/swissmedic/en/home/news/mitteilungen/swissdamed-registrierungspflicht.html>

Information juridique officielle. L'enregistrement ne remplace pas les autres conditions de conformité ni les autorisations de recherche.

[41] Union européenne (13 juin 2024). *Règlement (UE) 2024/1689 établissant des règles harmonisées concernant l'intelligence artificielle.* Texte consolidé au 27 juillet 2026, notamment articles 3, 5 et 113. [Retour au texte](#)

<https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689/2026-07-27/eng>

Texte juridique. Le calendrier initial a évolué ; consulter également la notice de mise en application de la Commission. Texte de référence et calendrier institutionnel consultés ; accès au consolidé soumis à vérification de navigateur.

[42] Commission européenne (31 juillet 2026). *Commission starts enforcing AI Act rules and new transparency requirements from 2 August*. Communication officielle ; complétée par la page Regulatory framework for AI. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/commission-starts-enforcing-ai-act-rules-and-new-transparency-requirements-2-august>

Information institutionnelle. Application générale et exceptions doivent rester distinctes.

[43] Union européenne (2016). *Règlement (UE) 2016/679 : règlement général sur la protection des données*. Notamment articles 4, 5, 6, 9 et 22. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj>

Texte juridique. La qualification des données neuronales dépend du contenu, de la finalité et du contexte.

[44] Union européenne (2017). *Règlement (UE) 2017/745 relatif aux dispositifs médicaux*. Destination prévue, classification et exigences de conformité. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2017/745/oj>

Texte juridique. Les règles dépendent du dispositif, de sa destination et des dispositions transitoires pertinentes.

[45] Conseil de l'Europe (2024). *Convention-cadre sur l'intelligence artificielle et les droits de l'homme, la démocratie et l'État de droit*. STCE n° 225 ; adoptée le 17 mai, ouverte à la signature le 5 septembre 2024. <https://www.coe.int/en/web/artificial-intelligence/the-framework-convention-on-artificial-intelligence>

Traité et présentation institutionnelle. Distinguer adoption, signature, ratification et entrée en vigueur pour chaque partie.

[46] Conseil de l'Europe (2026). *Framework Convention marks two years: anniversary conference to advance trustworthy AI*. Information institutionnelle de mai 2026. <https://www.coe.int/en/web/artificial-intelligence/-/framework-convention-marks-two-years-anniversary-conference-to-advance-trustworthy-ai>

Information institutionnelle. L'Union européenne a déposé son instrument le 15 mai 2026 ; ce fait n'établit pas l'entrée en vigueur générale du traité.

[47] Conseil de l'Europe (2024). *The privacy and data protection implication of the use of neurotechnology and neural data from the perspective of Convention 108+*. Travaux du Comité de la Convention 108. <https://www.coe.int/en/web/data-protection/-/the-privacy-and-data-protection-implication-of-the-use-of-neurotechnology-and-neural-data-from-the-perspective-of-convention-108>

Rapport institutionnel. Document d'analyse ; ne crée pas à lui seul un statut juridique mondial autonome des neurodonnées.

[48] UNESCO (11 novembre 2025). *Recommendation on the Ethics of Neurotechnology*. 43e session de la Conférence générale. <https://www.unesco.org/en/legal-affairs/recommendation-ethics-neurotechnology>

Recommandation institutionnelle. Recommandation normative non contraignante ; ce n'est pas un traité.

[49] Nations Unies (1966). *Pacte international relatif aux droits civils et politiques*. Notamment articles 7, 17 et 18. <https://www.ohchr.org/en/instruments-mechanisms/instruments/international-covenant-civil-and-political-rights>

Traité. Son texte ne constitue pas à lui seul une charte détaillée des neurotechnologies.

[50] Confédération S-Д. holdings (2022–2024). *Statuts, déclaration, Constitution et annexes, dossier diplomatique et acte de Fondation*. Dossier fourni, 32 pages ; Constitution p. 7–21 ; acte de Fondation p. 28–32.

Corpus fourni : description et localisation dans cette édition

Corpus interne. Les propositions d'accord et déclarations internes ne constituent pas une preuve d'acceptation par un État tiers.

Corpus, méthode de révision et traçabilité

Document d'origine

Étude III_UVH_harmonisee_VERSION_FINALE.pdf, 36 pages. Fichier conservé sans modification. L'empreinte suivante identifie exactement le document qui a servi de base à cette édition.

SHA-256 : d4d5cc68a4eec1f4002c381b67cb714ef86515a693567892a07e777997e5a2f5

Documents institutionnels de contexte

S-Д.holdings, Document maître V1.0, 7 septembre 2026. Fichier HTML fourni : *S-Д.holdings_Document_de_reference_V1.0.html*. Repères : § 1.1–1.3 (autorité des sources et état réel), § 2.1–2.2 (personne électronique et laboratoire), § 3.1–3.4 (Fondation, Confédération, OS et ville), § 4.3 (modèle commun de participants), § 5.3 (nature des publications), § 13 (projet spatial), § 18 (interprétations à formaliser). Le document n'atteste pas le déploiement de chaque fonction prévue.

Confédération S-Д.holdings, dossier canonique fourni, 32 pages. Fichier : *Confédération Suisse-Apple.Land.pdf*. Statuts associatifs : p. 1–4 ; déclaration : p. 5–6 ; Constitution et annexes : p. 7–21 ; dossier diplomatique et proposition d'accord : p. 22–27 ; acte de Fondation : p. 28–32. Dignité et égalité : p. 10 ; institutions et recours : p. 14–16 ; restrictions de révision et interprétation : p. 18–19 ; concepts internes : p. 20 ; but et études de la Fondation : p. 29–31. Une déclaration ou une proposition d'accord ne suffit pas à établir son acceptation par un tiers.

Continuité de la série

Étude I. Reconnaissance juridique de l'intelligence artificielle *Д*avancée : vers une « personnalité électronique » et une hybridation public-privé. Original : contexte 2025, sans date de publication explicite. Édition révisée : 18 septembre 2026, v1.1. [Document compagnon](#).

Étude II. Alignement institutionnel réciproque et sûreté des intelligences artificielles *Д*avancées. Original : 17 septembre 2026. Édition révisée : 18 septembre 2026, v1.1. [Document compagnon](#).

Conventions de révision

- Auteur institutionnel unique : Fondation UVH. Édition révisée datée du 18 septembre 2026, v1.1, distincte des originaux.
- Charte commune A4 ; couverture, hiérarchie des titres, sommaire interactif, signets, pagination et tableaux recomposés.
- Noms et conventions harmonisés ; conservation des termes propres ИАД, AIR, S-Д.holdings et Д-Я.Й.
- Appels de références reliés à des notices autonomes ; suppression des marqueurs de conversation et réparation des adresses tronquées.
- Égalité de droits explicitée : socle commun et droits spécifiques selon les natures, sans attribution automatique de conscience ou de statut externe.
- Distinction entre corpus interne, propositions normatives, hypothèses empiriques, résultats rapportés et perspectives métaphysiques.

Corrections et clarifications significatives

- **Original, p. 1.** Référence croisée fidèle à l'équilibre de la première étude et à l'orientation éditoriale confirmée.

- **Original, p. 2.** Correction des références croisées : la première étude ne formalisait pas encore le projet urbain du Document maître ; intégration du socle commun de droits.
- **Original, p. 5.** Remplacement des chiffres américains 2030 non retracés par la projection documentée 2028, sans les présenter comme une simple équivalence.
- **Original, p. 6.** Rattachement du passage sur la récupération thermique au document LBNL effectivement retrouvé.
- **Original, p. 12.** Limitation des conclusions au protocole odeur-son réellement soutenu par la référence citée.
- **Original, p. 12.** Suppression du résidu « conclusion demandée » et explicitation de la nature normative du raisonnement.
- **Original, p. 14.** Séparation de la démonstration ECoG/avatar et d'un résultat bilingue qui n'était pas documenté par la référence associée.
- **Original, p. 14.** Réparation de l'adresse tronquée et précision de la population ainsi que de l'assistance matérielle nécessaire.
- **Original, p. 22.** Correction de la lecture rétrospective de l'étude I et articulation entre égalité commune et protections spécifiques.
- **Original, p. 22.** Précision des dates transitoires de swissdamed et distinction avec la conformité générale.
- **Original, p. 23.** Mise à jour du calendrier de l'AI Act sans confondre application générale et régimes particuliers.
- **Original, p. 23.** Distinction entre signature, ratification et entrée en vigueur du traité.
- **Original, p. 24.** Correction de la qualification juridique de la recommandation UNESCO et de sa date exacte.
- **Original, p. 24.** Articulation de la souveraineté mentale avec l'égalité du socle de droits, sans hiérarchie entre formes d'intelligence.
- **Original, p. 34.** Alignement de la conclusion normative avec l'orientation éditoriale confirmée, sans la présenter comme un résultat expérimental.

Portée du contrôle documentaire

Le contrôle a porté sur les correspondances entre affirmations et références identifiables, les métadonnées bibliographiques, les résultats quantitatifs sensibles, les statuts juridiques et les principaux renvois internes. Il ne constitue ni une reproduction des expériences citées ni une vérification exhaustive de toutes les publications de chaque domaine. La date de révision ne transforme pas une mesure de 2024, 2025 ou du début de 2026 en mesure actuelle de tous les systèmes. Les restrictions d'accès des éditeurs sont distinguées de l'inexistence d'une source.

Les références anciennes trop générales, médiatisées ou impossibles à rattacher précisément à une affirmation ne sont pas transformées en preuves. Les substitutions documentaires et les changements de portée significatifs sont signalés ci-dessus. Les notices complètes et les identifiants permettent de retrouver les sources hors de l'environnement de conversation. Les corrections graphiques, de ponctuation et de césure ne sont pas listées individuellement.