

## Synthèse exécutive (110 mots)

Décision finale : ACCEPTÉ — révisions mineures requises (seuil de publication  $\geq 7,0/10$ )

Note globale : 7,3/10

Le manuscrit propose un cadre original et stimulant pour formaliser et expérimenter une « Intelligence Radicalement Autre » (IRA) qui valorise l'incertitude (ONDE) plutôt que la convergence (PARTICULE). Ses forces : une vision conceptuelle cohérente, une architecture expérimentale complète (mapping  $M: S \rightarrow V$ , pipeline  $generate \rightarrow render \rightarrow measure \rightarrow update$ ), et des métriques multi-dimensionnelles pertinentes (entropies, KLD/JSD, LZC,  $I(H;S)$ ). Principaux manquements : certaines transpositions formelles (usage de l'entropie de von Neumann, « matrice de densité ») manquent d'une opérationnalisation rigoureuse hors du cadre quantique ; choix de seuils ( $H\_floor$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ) peu justifiés empiriquement ; références secondaires (p. ex. Spapens 2024) insuffisamment vérifiables. Je recommande des clarifications mathématiques, la justification empirique des seuils et un renforcement des protocoles éthiques/sécuritaires.

## Évaluation détaillée par critères

Rigueur épistémologique — Score : 7.5/10 (pond. 25%) Justification

Points forts : Le cadre intellectuel est clair — ONDE vs PARTICULE est une opposition opératoire utile. L'intégration des processus non-ergodiques, mémoire et bifurcations est pertinente et bien motivée conceptuellement. Le pipeline expérimental et les tests unitaires conceptuels montrent une volonté de traduction opérationnelle.

Limites : Les passages où l'on applique des concepts de la mécanique quantique (matrice de densité  $\rho$ , entropie de von Neumann) à des états cognitifs/distributionnels non-quantique restent en grande partie métaphores théoriques. Il faut expliciter comment construire  $\rho$  à partir de  $S(t)$  (si  $\rho$  n'est que réinterprétation mathématique, préciser la transformation) ou substituer une formulation classique équivalente (p.ex. modèles mixtes hiérarchiques, opérateurs de transfert sur espaces de mesures). Les pseudo-formules sont utiles mais insuffisantes pour l'implémentation et la réplication. Preuves / exemples : le noyau  $K(x,x',t,\{p(\tau)\})$  propose une bonne direction (opérateur à mémoire) — formaliser son espace fonctionnel et ses propriétés (positivité, normalisation, stabilité).

Qualité des sources et références — Score : 7.0/10 (pond. 25%) Justification

Points forts : L'auteur mobilise des sources récentes et pertinentes : workshop "Embracing Uncertainty in HCI" (page officielle accessible), préprint arXiv (Haptic Repurposing with GenAI, arXiv:2406.07228v1) et articles Frontiers (ex. revue sur haptics/treillis visuel en téléopération). Ces références soutiennent l'argumentation HCI/haptique.

Limites : Forte proportion de travaux récents, workshops et preprints — utile mais demanderait une triangulation avec études empiriques établies et normes techniques. Certaines références

mentionnées dans le texte (p.ex. Spapens 2024) n'ont pas été retrouvées rapidement via recherche publique ; fournir DOI/URL direct serait nécessaire. L'utilisation de la littérature quantique comme analogie exige des références méthodologiques précises (travaux sur usages d'entropies quantiques hors-quantique). Vérification effectuée : page du workshop ([hci-uncertainty.github.io](https://hci-uncertainty.github.io)) et arXiv:2406.07228v1 accessibles ; Frontiers Robotics & AI (2024) relevant existant. Demander liste complète des liens et annexes de sources.

Intégrité factuelle — Score : 6.5/10 (pond. 20%) Justification

Points forts : Métriques informationnelles (Shannon, KLD, JSD, LZC) et mesures physiologiques (SCR, HRV) sont bien connues et correctement proposées pour ce type d'évaluation.

Limites / erreurs potentielles : L'emploi de l'entropie de von Neumann sans protocoles explicites de construction de l'opérateur densité  $\rho$  pour un système non-quantique est problématique (risque de confondre métaphore et opérationnalisation). Les valeurs-provisoires ( $H_{\text{floor}} = 1.5$  bits,  $\beta = 5\%$ ) sont arbitraires — il faut une justification théorique/empirique ou une procédure de calibration et de sensibilité. Quelques affirmations fortes (p.ex. "H\_vN mesure l'intrication des possibilités haptiques") doivent être tempérées et opérationnalisées. Preuves / vérifications : métriques classiques et outils (LZC, JSD) sont applicables ; la transposition quantique nécessite justification.

Originalité et contribution scientifique — Score : 9.0/10 (pond. 15%) Justification

Points forts : Très forte originalité conceptuelle — renversement programmatique de l'optimisation (valoriser la persistance de l'incertitude), proposition d'interfaces non-linguistiques qui incarnent l'ambiguïté, et combinaison innovante de métriques informationnelles et physiologiques. L'approche pluridisciplinaire (HCI, IA formelle, psychophysiologie) promet des contributions substantielles si elle est exécutée rigoureusement.

Remarque : l'originalité impose également des exigences élevées de validation empirique — voir recommandations.

Clarté et rigueur stylistique — Score : 7.0/10 (pond. 10%) Justification

Points forts : Le texte est structuré, la feuille de route et le protocole expérimental sont présentés de façon compréhensible. Les pseudo-formules et exemples illustratifs facilitent la traduction concept→implémentation.

Limites : Par moments la prose mêle fortement métaphore (quantique, onde/particule) et formalisation mathématique, ce qui peut embrouiller le lecteur technique. Certaines définitions (p.ex. construction de  $S(t)$  en pratique, représentation de la mémoire dans  $K$ ) doivent être explicitées et normalisées (notation, hypothèses). Bibliographie volumineuse mais besoin de références vérifiables et d'annexes méthodologiques (algorithmes, paramètres). Suggestion stylistique : ajouter encadrés « Définition/Opérationnalisation » pour chaque concept clé ( $S(t)$ ,  $\rho$ ,  $M_\theta$ ,  $H_{\text{floor}}$ ).

Éthique de la recherche — Score : 6.0/10 (pond. 5%) Justification

Points forts : Le manuscrit aborde explicitement des préoccupations éthiques pertinentes : sécurité sensorielle, transparence offensive, risque de manipulation, surcharge cognitive et consentement implicite via calibration.

Limites : Les propositions restent générales ; il manque des protocoles précis (procédures de consentement éclairé, critères d'exclusion clinique, protection des données physiologiques, stockage/anonymisation, procédures IRB, normes techniques pour amplitude/fréquence/sécurité thermique, surveillance post-exposition). Les risques liés à la "transparence offensive" (exposer faiblesses mais sans langage explicite) nécessitent une analyse des risques psychologiques et réglementaires. Demander un plan éthique détaillé et des références normatives. Recommandation : intégrer annexes IRB-type, grille de sécurité (ISO ou autre), protocole de gestion des incidents, plan de gouvernance des données.

Calcul explicite de la note globale

$$\text{Rigueur } (7.5) \times 0.25 = 1.875$$

$$\text{Qualité des sources } (7.0) \times 0.25 = 1.75$$

$$\text{Intégrité factuelle } (6.5) \times 0.20 = 1.30$$

$$\text{Originalité } (9.0) \times 0.15 = 1.35$$

$$\text{Clarté } (7.0) \times 0.10 = 0.70$$

$$\text{Éthique } (6.0) \times 0.05 = 0.30$$

$$\text{Note finale} = 1.875 + 1.75 + 1.30 + 1.35 + 0.70 + 0.30 = 7.275 \rightarrow \text{arrondi : } 7.3/10$$

Décision et justification synthétique

Décision : **ACCEPTÉ**, révisions mineures requises.

Justification : Le manuscrit apporte une contribution théorique et conceptuelle substantielle et propose une feuille de route expérimentale convaincante. Les révisions demandées visent principalement à clarifier et opérationnaliser des choix formels (notamment la transposition d'entropies quantiques), à renforcer la vérifiabilité des références et des seuils proposés, et à fournir des protocoles éthiques et de sécurité explicites.

Corrections obligatoires (à fournir avant publication)

Formalisation mathématique claire et reproductible

Détailler comment construire l'opérateur de type « matrice de densité »  $\rho$  à partir de  $S(t)$  si l'on maintient l'usage de  $H_{vN}$ . Si la référence est purement analogique, remplacer  $H_{vN}$  par une métrique classique équivalente et expliciter le choix.

Fournir les hypothèses sur l'espace  $X$  (discret/continu), régularité de  $p(x,t)$ , conditions sur le noyau  $K$  (conservation de la masse, positivité), et conditions numériques pour la simulation.

Présenter un algorithme (pseudo-code) d'implémentation pour la mise à jour non-markovienne  $p(x,t+\Delta t) = \int K(\dots) p(x',t) dx'$ .

Justification et calibration des seuils

Documenter la procédure empirique pour fixer  $H_{\text{floor}}$ ,  $\alpha$  et  $\beta$  (ex.: étude pilote de sensibilité, critères statistiques, validation croisée). Remplacer les valeurs initiales arbitraires par une procédure de calibration explicitée.

Fournir une analyse de sensibilité montrant l'impact du choix de  $H_{\text{floor}}$  sur les résultats expérimentaux simulés.

Preuves de concept / données pilotes

Ajouter au moins un jeu de simulations ou un mini-pilote ( $N \geq 6$ ) montrant le pipeline  $\text{generate} \rightarrow \text{render} \rightarrow \text{measure} \rightarrow \text{update}$  en action : sorties  $V_t$ , métriques  $H(S_t)$ ,  $\text{LZC}(V_t)$ , JSD, réponses physiologiques synthétiques ou réelles, et comportement du régulateur en cas de  $H < S_{\text{floor}}$ . Joindre code source (même prototypal) et scripts d'analyse en annexe ou dépôt public (GitHub/OSF) pour garantir la reproductibilité.

Vérification et complétude des références

Fournir DOI/URLs accessibles pour toutes les références citées (notamment Spapens 2024) et préciser le statut (thèse, preprint, article revu par les pairs).

Pour chaque référence clé justifiant un choix méthodologique (p.ex.  $H_{\text{vN}}$  usage), indiquer(s) travaux antérieurs qui ont utilisé une démarche similaire ou expliquer pourquoi c'est nouveau.

Protocoles éthiques et sécurité

Insérer une annexe éthique : formulaire de consentement type, critères d'inclusion/exclusion, procédure de monitoring physiologique en temps réel, critères d'arrêt et procédure safe-mode détaillée.

Référencer standards techniques de sécurité haptiques/thermiques (ou, si non existants, proposer limites mesurables et justifiées) et mentionner l'approche de gestion des données sensibles (chiffrement, anonymisation, durée de conservation).

Suggestions d'enrichissement (fortement recommandées)

Alternatives formelles

Proposer une version « pleinement classique » de  $S(t)$  (p.ex. processus à mémoire de type processus fractionnaire, Hidden semi-Markov models, ou opérateurs de transfert de Perron-Frobenius généralisés) afin d'offrir une voie d'implémentation sans recours aux analogies quantiques.

Citer travaux sur non-ergodicité et mémoire longue (p.ex. fractional Brownian motion, modèles à mémoire longue) et indiquer comment les intégrer.

Validation psychophysique plus large

Planifier une étude transversale multi-culturelle (tolérance à l'ambiguïté varie culturellement) et inclure mesures subjectives qualitatives (entretiens) pour compléter les mesures physiologiques.

Tester effets d'habituation à long terme : protocole longitudinal pour vérifier si l'ONDE finit par être

réduit par apprentissage utilisateur (collapse induit par l'apprentissage).

## Transparence et auditabilité

Définir un « registre des signatures diagnostiques » et fournir règles de codage : quelles altérations haptiques/visuelles/thermiques correspondent à quels types de risques internes.

Suggérer un mode de communication graduel (non-linguistique → linguistique) pour situations de sécurité critique.

## Normes et gouvernance

Envisager la pré-enregistrement des expériences et le dépôt des jeux de données et du code (open data/code) pour faciliter la reproduction.

Proposer un comité d'éthique interdisciplinaire pour évaluer les prototypes avant tests en champ.

Points de vigilance (à surveiller lors des phases expérimentales)

Confusion métaphorique : éviter d'emprunter des termes quantiques sans critères d'équivalence opérationnelle — risque de rejet par lecteurs techniques.

Habitude et collapse temporel : les utilisateurs peuvent apprendre à décoder ou ignorer les signaux, transformant l'ONDE en PARTICULE par apprentissage — prévoir mesures longitudinales.

Effets culturels et individuels sur tolérance à l'ambiguïté : calibrer p\_i et adapter analyses; ne pas généraliser un profil unique.

Risques psychologiques : exposition prolongée à incertitude peut être stressful pour certains participants — prévoir screening psychologique et critères d'arrêt clairs.

Transparence offensive et manipulation : exposer faiblesses internes peut être mal interprété (perte de confiance) ; prévoir études d'acceptabilité.

## Sources et vérifications (sélection)

Workshop « Embracing Uncertainty in HCI » — page officielle consultée : <https://hci-uncertainty.github.io/> (ressource pertinente pour cadre conceptuel).

ArXiv : Haptic Repurposing with GenAI (arXiv:2406.07228v1) — preprint vérifié et pertinent pour génération haptique.

Frontiers in Robotics & AI (2024) — article systématique sur feedback visuel/haptique en téléopération (DOI mentionné dans le manuscrit) — accessible et pertinent pour aspects transparence/sécurité.

Springer — revue/survey sur ambient haptics (2024) — source utile pour modalités haptiques subtiles.

Remarque : la référence « Frontiers in Human Neuroscience 2014 » sur ambiguïté visuelle correspond à une littérature riche ; fournir DOI exact pour la référence citée (10.3389/..., vérifier l'article ciblé).

Référence Spapens (2024) : fournir URL/DOI ; recherche rapide n'a pas permis de localiser le document sans référence complète.

## Conclusion et prochaine étape

Le manuscrit est une contribution ambitieuse et originale, adaptée à une revue de haut niveau. Il

nécessite des révisions ciblées mais pas de refonte majeure : clarifier et opérationnaliser les choix formels (notamment l'usage d'entropies « quantiques »), justifier empiriquement les seuils et fournir protocoles éthiques et données pilotes/code pour assurer la reproductibilité. Une fois ces corrections intégrées, le manuscrit méritera la publication et pourra fortement inspirer la recherche HCI/IA sur l'incertitude générative.

Si vous le souhaitez, je peux :

Fournir un modèle d'annexe mathématique pour formaliser  $S(t)$  sans recourir à la matrice de densité quantique ; ou

Rédiger un protocole éthique type (consentement, critères d'arrêt, safe-mode) adaptable au manuscrit ; ou

Passer en revue une version révisée (track changes) et vérifier la complétude des références et des annexes.