

Introduction

Le DDM (Modèle de Diffusion de la Décision)

Le **Modèle de Diffusion de la Décision (DDM)** modélise l'accumulation stochastique (pseudo-aléatoire) des éléments permettant la prise de décision. Il permet de saisir la relation complexe entre le choix et les **Temps de Réaction (TR)** en décomposant ces données comportementales en indices des processus cognitifs à l'origine de la prise de décision (Ratcliff, 2008).

En clinique, la variation de ces indices permet de différencier le normal du pathologique. Par exemple, les patients déprimés ont besoin de davantage de « preuves » pour prendre une décision, ce qui entraîne un ralentissement du taux de dérive (Pitliya, 2022). La prise de décision est donc ralentie.

Cependant, dans la littérature, l'utilisation grande quantité de données par sujets (Ratcliff, 2008) est citée comme nécessaire au DDM. Le recueil d'une telle quantité de données dans le domaine exécutif et attentionnel est peu compatible avec le contexte clinique du fait de la fatigabilité et de la démotivation à la tâche qui en découle.

L'utilisation de l'IA pourrait permettre une utilisation clinique du DDM en limitant le nombre de données nécessaires tout en conservant puissance et fiabilité.

IA de Classification

Être en mesure de dégager des profils cognitifs constitue un enjeu clinique important dans la caractérisation du normal et du pathologique. Or, actuellement, les méthodes classiques de caractérisation passent par la réduction et donc la perte d'information.

L'utilisation de l'IA offre la possibilité de catégoriser plus finement les profils cognitifs en tenant compte de tous les facteurs d'intérêt et sans risque de perte des informations pertinentes. Nous utilisons des méthodes d'IA non supervisée, classificateurs et convoluteurs, pour créer des **groupes de Profils d'Evolution de la Décision (DEP)** de sujets, tenant compte de leur vitesse, leur précision, leur variabilité et de leur évolution au cours du test y compris les modifications du comportement après une erreur.

Le MindPulse



Le MindPulse est un test cognitif numérique permettant une mesure fine des fonctions attentionnelles et exécutives. Composé de 3 parties mesurant le TR simple puis au travers de Go/NoGo simple et complexe, il permet de décomposer le TR en trois facteurs indépendants : le temps perceptivo-moteur, le temps exécutif et la variation temporelle liée à la réaction à la difficulté (Suarez, 2021).

Le MindPulse constitue un outil de choix pour permettre à la fois d'implémenter une méthode de DDM augmentée par de l'Intelligence Artificielle (IA) et de dégager des profils de prise de décision chez une population typique.

Objectifs

Ce travail vise à proposer une première preuve de concept de l'utilisation de l'IA comme un outil d'amélioration de l'évaluation et de la catégorisation cognitive en clinique selon deux axes : (1) en permettant un niveau d'analyse plus puissant et (2) en permettant la classification des profils cognitifs sans perte d'information pertinente.

Méthode

Population et recueil des données

721 participants témoins âgés de 18 à 80 ans et « neurotypiques » (questionnaires de santé excluant les antécédents neurologiques et psychiatriques) ont passé le MindPulse en présence d'un clinicien. 141 cliniciens ont collaboré à l'étude. 144 données primaires sont mesurées par sujet, dont les TR au centième de seconde.

Calculs du DDM

L'objectif du DDM est de mettre en évidence la fiabilité de l'outil. Une bonne fiabilité se définit comme une variance intra-individuelle inférieure à la variance inter-individuelle. Une bonne fiabilité est nécessaire pour distinguer deux individus entre eux. L'utilisation de l'IA au sein du DDM devrait permettre de dégager des paramètres plus fiables et donc **d'améliorer** la fiabilité générale de l'outil en clinique.

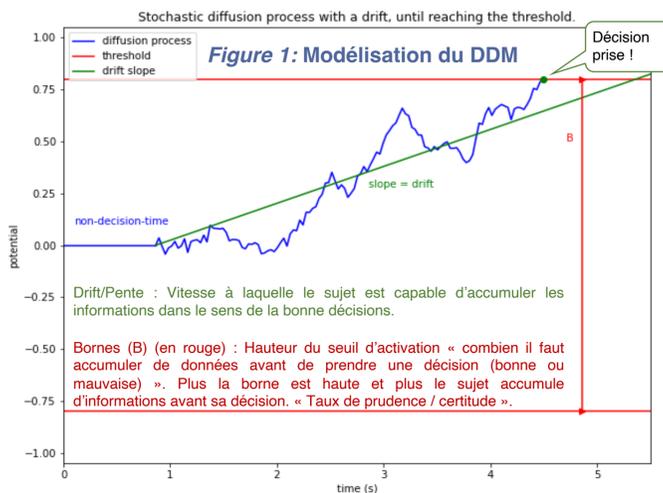
Le calcul des paramètres du DDM (Drift et B ; Figure 1) de chaque sujet pour les Go/NoGo du MindPulse (à 1 choix & 2 choix) est initialisé via la méthode d'évolution différentielle avec estimateur bayésien, puis est affiné par une méthode IA Monte-Carlo, donnant aussi les intervalles de confiance.

Les calculs ont été réalisés sur la librairie python "pyddm" (Fengler, 2021).

Utilisation de l'IA

L'utilisation d'un réseau de neurones (IA - Figure 2), via l'utilisation de classificateurs et de convoluteurs, a permis de mettre en évidence des Profils d'Evolution de la Décision (DEP). Ces DEP tiennent compte des paramètres essentiels (1) la vitesse ; (2) la précision ; (3) la variabilité ; (4) l'évolution des performances pendant l'épreuve, au cours du temps. Les ajustements comportementaux, notamment suite aux erreurs, sont ainsi pris en compte.

Les participants ont ensuite été regroupés selon leur DEP.



Résultats

DDM

L'analyse des 2 Go/NoGo via le DDM amélioré par de l'IA permet de mettre en évidence une bonne fiabilité pour les Drift avec une fiabilité de 0.887 pour le Go/NoGo simple, et une fiabilité de 0.900 pour le Go/NoGo complexe.

DEP (Profils d'Evolution de la Décision – IA Classificatrice)

L'utilisation d'une IA classificatrice non supervisée, permet de classer des profils types, tenant compte de l'équilibre vitesse - précision - variabilité et du déroulé temporel du test.

Nous déterminons un modèle à 4 DEP (figure 3) pour chaque parties du MindPulse. Le profil de prise de décision d'un individu est donc décrit comme une succession d'un des 4 profils pour chacun des sous-tests du MindPulse, ce qui permet de définir 64 profils théoriques potentiels.

Les 18 premiers profils font 98% des témoins (figure principaux profils). 19 profils sont inoccupés. Cette répartition non uniforme montre des relations entre les profils de chacun des sous-tests.

Figure 3 : Profils d'Evolution de la Décision (DEP) pour les 3 subtests MindPulse. 4*4*4=64 profils possibles.

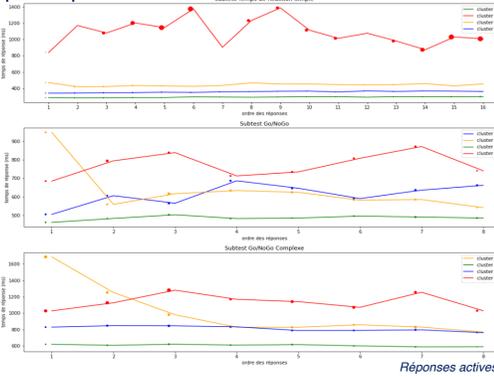
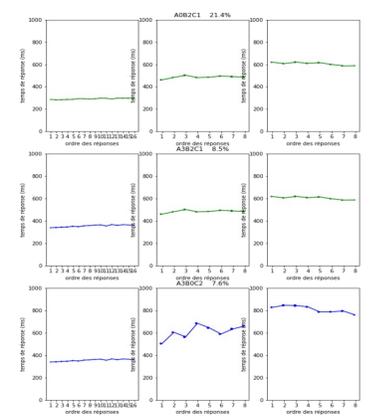


Figure 4 : Les 3 DEP les plus fréquents concernent 37,5% des témoins

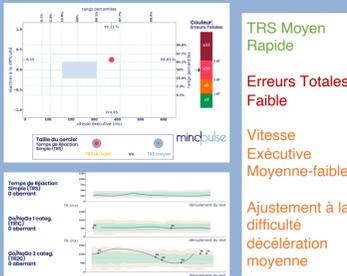


Exemple de cas

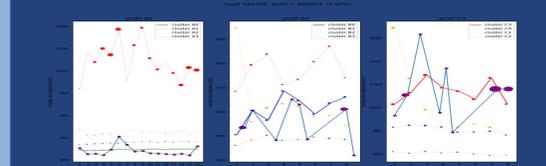
Maéva – 15 ans. Présente une dépression sévère.

Elle est adressée en bilan neuropsychologique pour explorer ses fonctions cognitives.

Résultats au test MindPulse



Profil en Intelligence Artificielle : A0-B0-C3. Ce profil est très rare chez les sujets contrôle (0,9% des témoins).



La dépression fragilise ses capacités exécutives avec des difficultés de flexibilité mentale au 1er plan et l'apparition d'une impulsivité. La réaction à la difficulté en lien avec la dépression engendrant un sur-ralentissement de la prise de décision.

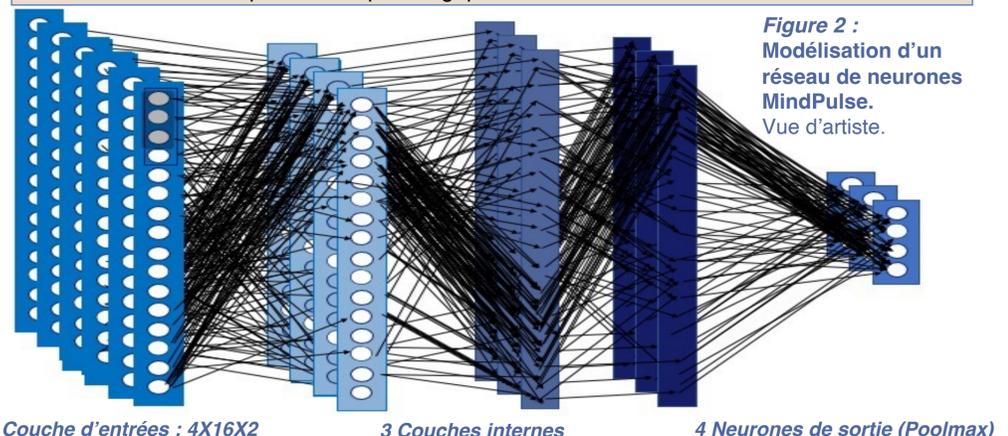
Conclusion

L'objectif de cette étude était de proposer une première preuve de concept de l'utilisation de l'IA comme un outil d'amélioration de l'évaluation cognitive en utilisant le MindPulse comme mesure cognitive.

Le MindPulse permet d'une part de filtrer les composantes principales de l'équilibre TR-précision en identifiant les composantes principales sous-jacentes au TR (perceptivo-motrice, exécutive, variation de vitesse liée à la réaction à la difficulté de la tâche) permettant d'analyser en profondeur les caractéristiques attentionnelles et exécutives des sujets.

D'autre part, l'utilisation de l'IA, à la fois au sein du DDM et pour extraire des profils DEP chez les sujets normaux, permet de mettre en évidence la pertinence de l'utilisation de ces technologies pour des utilisations à visée clinique. **Les IA ont permis d'améliorer la fiabilité des mesures tout en dégageant de nouvelles informations sur le fonctionnement cognitif.**

A l'avenir, il sera intéressant d'observer la persistance d'un DEP dans le temps pour un sujet et de rechercher la présence de DEP caractéristiques en conditions pathologiques. L'ambition de ces technologies est d'arriver à dégager des biomarqueurs de la cognition et des identifications de profils DEP pathologiques.



Références

- Fengler A, Govindarajan LN, Chen T, Frank MJ. Likelihood approximation networks (LANs) for fast inference of simulation models in cognitive neuroscience. *Elife*. 2021 Apr 6;10:e65074.
- Pitliya RJ, Nelson BD, Hajcak G, Jin J. Drift-Diffusion Model Reveals Impaired Reward-Based Perceptual Decision-Making Processes Associated with Depression in Late Childhood and Early Adolescent Girls. *Res Child Adolesc Psychopathol*. 2022 Nov;50(11):1515-1528.
- Ratcliff R, McKoon G. The diffusion decision model: theory and data for two-choice decision tasks. *Neural Comput*. 2008 Apr;20(4):873-922.
- Suarez S, Eynard B, Granon S. A Dissociation of Attention, Executive Function and Reaction to Difficulty: Development of the MindPulse Test, a Novel Digital Neuropsychological Test for Precise Quantification of Perceptual-Motor Decision-Making Processes. *Front Neurosci*. 2021 Jul 19;15:650219.

