UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

LES EFFETS DU CANNABIS : VERS UNE APPROCHE MÉTACOGNITIVE

THÈSE PRÉSENTÉE
COMME EXIGENCE PARTIELLE DU

DOCTORAT CONTINUUM D'ÉTUDES EN PSYCHOLOGIE
(PROFIL RECHERCHE)

PAR
STÉPHANIE LAVOIE

JUIN 2026

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire, de cette thèse ou de cet essai a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire, de sa thèse ou de son essai.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire, cette thèse ou cet essai. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire, de cette thèse et de son essai requiert son autorisation.

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

DOCTORAT CONTINUUM D'ÉTUDES EN PSYCHOLOGIE
(PROFIL RECHERCHE) (Ph. D.)

Direction de recherche :

Sylvain Sirois, Ph. D. — directeur de recherche
Université du Québec à Trois-Rivières

Jury d'évaluation :

Sylvain Sirois, Ph. D. — directeur de recherche
Université du Québec à Trois-Rivières

Claudia Trudel-Fitzgerald, Ph. D. — présidente du jury
Université du Québec à Trois-Rivières

Benoit Brisson, Ph. D. — évaluateur interne
Université du Québec à Trois-Rivières

Marie Claude Ouimet, Ph. D. — évaluatrice externe
Université de Sherbrooke

Thèse soutenue le 19/05/2026

Ce document est rédigé sous la forme d'article(s) scientifique(s), tel qu'il est stipulé dans les règlements des études de cycles supérieurs (Article 360) de l'Université du Québec à Trois-Rivières. Les articles ont été rédigés selon les normes de publication de revues reconnues et approuvées par le Comité de programmes de cycles supérieurs du département de psychologie. Le nom du directeur de recherche pourrait donc apparaitre comme co-auteur de l'article soumis pour publication.

Sommaire

Le delta-9-tétrahydrocannabinol (THC), principal composé psychoactif du cannabis, est fréquemment associée à une altération des fonctions cognitives et des capacités de conduite. Cependant, les résultats varient selon les études, et la perception des personnes qui consomment, des effets du cannabis sur leur propre fonctionnement, demeure peu connue. L'objectif de cette thèse est d'examiner les effets aigus du THC sur les fonctions cognitives et la conduite à travers deux approches complémentaires : une revue systématique de la littérature expérimentale sur les mesures objectives et subjectives des effets, et une étude empirique par questionnaire évaluant la perception subjective du fonctionnement cognitif chez les consommatrices et consommateurs de cannabis. La revue met en évidence une faible concordance entre perception et performance, particulièrement dans le domaine cognitif, ainsi qu'une grande variabilité méthodologique entre études. Les résultats du questionnaire indiquent que les scores associés aux dimensions cognitives perçues diffèrent selon les états de consommation rapportés. Dans l'ensemble, ces travaux soulignent l'importance d'intégrer la dimension métacognitive, c'est-à-dire l'évaluation des capacités et limites, dans l'étude des effets du cannabis sur la cognition et la conduite. Compte tenu du rôle subjectif dans la régulation comportementale, ils invitent les recherches futures à mieux comprendre comment les personnes qui consomment évaluent leur état, et comment l'évaluation peut influencer la décision de conduire après la consommation de cannabis.

Table des matières

Sommaire iv

Liste des tableaux ix

Liste des figures x

Liste des sigles et acronymes xii

Remerciements xiv

Introduction générale 1

Pharmacologie du cannabis et variabilité des effets 4

Question générale de recherche 6

Évaluation des effets du cannabis 6

Mesures objectives 7

Mesures subjectives 9

Métacognition 9

Monitoring : connaissance et expérience métacognitive 10

Jugements : premier et second-ordre 11

Contrôle métacognitif 11

Arrimer les connaissances in vitro à l'expérience in vivo 12

Cognition 13

Mesures objectives de la cognition 13

Mémoire de travail 14

Flexibilité 15

Inhibition 16

Inhibition cognitive....16
Inhibition comportementale....16
Attention....18
Attention divisée....18
Attention soutenue....18
Attention sélective....19
Perception du temps....20
Psychomotricité....21
Perspective neurocognitive....21
Mesures subjectives de la cognition....23
Mesures subjectives et objectives dans les études sur la cognition et la conduite....27
Limites et problématique....31
Objectif....32
Résumé substantiel en français – Article scientifique 1....34
Article scientifique 1 – Characterizing subjective and objective effects following cannabis use on cognition and driving: a systematic review....36
Abstract....38
Introduction....39
Objectives....42
Method....42
Search strategy....42
Inclusion and exclusion criteria....43

Study selection and screening process 43
Data extraction and analyses 45
Results 45
Descriptive data 45
Analyses 47
Discussion 71
Limits 76
Future studies 77
Conclusion 78
References 79
Résumé substantiel en français – Article scientifique 2 86
Article scientifique 2 – Users self-perception of the effects of cannabis on cognition 89
Abstract 91
Introduction 92
Method 97
Participants 97
Procedures and materials 97
Self-report executive functioning 100
Elaboration of items 100
Statistical analyses 104
Results 105
Global perspective of cognitive functioning 105

Perception of cognitive functioning 105
Discussion 107
Factor 1 108
Factor 2 109
Factor 3 110
Limits 111
Conclusion 112
References 114
Supplemental material 120
Discussion générale 125
Alignement entre mesures subjectives et objectives : un défi conceptuel et méthodologique 131
Limites 134
Fréquence de consommation et tolérance 136
De la perception à la décision 138
Stratégie de réduction du risque 139
Conclusion générale 141
Références générales 144
Appendice. Projet de recherche initial 160

Liste des tableaux

Liste des tableaux dans l'Article 1 :

Tableau

1 Summary of the most commonly used cognitive tasks 46

2 Number of results and significant effects grouped by subjective category 47

3 Key characteristics of studies eligible for analysis 49

4 Result frequencies for each type of statistical test outcome, for measures of cognitive and driving performance by type of measure (objective or subjective) 70

Liste des tableaux dans l'Article 2 :

Tableau

1 Demraphic characteristics 98

2 Cannabis use characteristics 99

3 Rotated factor matrix for cognition 101

4 Summary of repeated-measures ANOVA results for the three factor scores by condition 107

Liste des figures

Liste des figures dans l'Article 1 :

Figure

1 PRISMA flow diagram....44

Liste des figures dans l'Article 2 :

Figure

1 Scree plot....106

Liste des figures dans l'Appendice :

Figure

A1 Exemple d'échelle visuelle analogique des effets subjectifs ressentis....163

A2 Premières instructions présentées pour la tâche de Stop-Signal....164

A3 Exemple d'un essai de la tâche Stop-Signal....164

A4 Instructions de la tâche Flanker....166

A5 Suite des instructions de la tâche Flanker....166

A6 Exemple d'un essai de la tâche de Flanker....167

A7 Exemple de la présentation d'un chiffre durant un essai de la tâche empan de chiffre....167

A8 Exemple de l'entrée d'une réponse d'un essai de la tâche empan de chiffre....168

A9 Exemple d'une pratique de déplacement de disque de la Tour de Hanoï....169

A10 Exemple d'un essai pratique de la Tour de Hanoï....169

A11 Exemple d'un essai de la Tour de Hanoï....170

Figure

A12 Exemple de la grille et d'un stimulus d'un essai de la tâche Spatial N-Back 170

A13 Exemple d'un essai de la tâche Spatial N-Back 171

A14 Exemple d'un essai de la tâche du WCST 172

A15 Extrait des instructions de la tâche du WCST 172

Liste des sigles et acronymes

ATV : Aire Tegmentale Ventrale

BART: *Balloon Analogue Risk Task*

BDEFS: *Barkley Deficits in Executive Functioning Scale*

BIS-11: *Barratt Impulsiveness Scale – 11e version*

BRIEF: *Behavior Rating Inventory of Executive Function*

CACC : Conduite après avoir consommé du cannabis

CB1 : Récepteur cannabinoïde de type 1

CB2 : Récepteur cannabinoïde de type 2

CEQ: *Cannabis Expectancy Questionnaire*

CPF : Cortex Préfrontal

CPT: *Continuous Performance Test*

COVID-19 : Maladie à coronavirus 2019

CTT: *Critical Tracking Task*

DACU: *Driving After Cannabis Use*

DAT: *Divided Attention Task*

DEX: *Dysexecutive Questionnaire*

FE : Fonctions exécutives

GPS: *Global Positioning System*

MEEQ: *Marijuana Effect Expectancies Questionnaire*

MFFT: *Matching Familiar Figures Test*

PASAT: *Paced Auditory Serial Addition Task*

POMS: *Profile of Mood States*

PVT: *Psychomotor Vigilance Task*

RVIP: *Rapid Visual Information Processing*

SDLP: *Standard Deviation of Lateral Position*

SSRT: *Stop-Signal Reaction Time*

SST: *Stop-Signal Task*

THC : Delta-9-tétrahydrocannabinol

TOL: *Tower of London*

VAS: *Visual Analogue Scale*

WCST: *Wisconsin Card Sorting Test*

Remerciements

Tout d'abord, je souhaite exprimer mes remerciements à mon directeur Sylvain Sirois pour son soutien, son regard critique, sa rigueur scientifique, ses conseils, sa disponibilité et sa patience tout au long de mon parcours doctoral, ainsi que la confiance qu'il m'a accordée lors des charges de cours. Je remercie également Benoit Brisson et Johannes Frasnelli pour leurs remarques éclairées et constructives, leur disponibilité et leurs encouragements ainsi que leur présence sur mon comité doctoral. Merci aux collègues de labo qui ont participé à ma vie sociale de recherche et les moments de déconnexion.

À mes enfants, merci pour votre patience et votre compréhension au cours de ces années. Vous m'avez donné la motivation nécessaire pour continuer, même dans les moments les plus exigeants. Votre présence m'a aidée à persévérer. Cette réussite est aussi la vôtre. Merci à mon conjoint pour son écoute, son humour et son soutien quotidien et sa présence, qui m'ont fortement aidée à traverser les épreuves et à poursuivre ce projet jusqu'au bout. Merci à ma mère d'avoir toujours été là pour moi, et de m'avoir aidée à me rendre jusqu'au bout. Merci à mon père et à ma famille proche pour votre précieux soutien, que j'apprécie énormément. Merci à mes amies Marie-Pier, Marianne et Vicky pour votre écoute, compréhension et soutien dans les moments plus difficiles.

À toutes celles et ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à ce travail : merci du fond du cœur.

Introduction générale

Depuis la légalisation du cannabis au Canada en 2018, la responsabilité de juger des risques liés à sa consommation ne repose plus uniquement sur des interdits juridiques. Elle engage, entre autres, notre capacité à évaluer notre état et à prendre conscience de nos propres limites. Entre ce que l'on ressent et ce que l'on est réellement capable de faire, il peut y avoir un écart. Un tel écart peut entrainer des conséquences graves, particulièrement lorsqu'il s'agit de prendre des décisions engageant sa propre sécurité et celles des autres, comme la conduite automobile.

La conduite après avoir consommé du cannabis (CACC), ou en anglais *Driving After Cannabis Use* (DACU) est un terme général utilisé pour désigner la conduite d'un véhicule dans les heures qui suivent la consommation de cannabis, sans nécessairement présumer l'altération des capacités de conduite (Capler et al., 2017). L'Enquête canadienne sur le cannabis de 2023 a interrogé 11 690 répondants, dont environ 20 % ont déclaré avoir conduit un véhicule à moteur après avoir consommé du cannabis au cours des 12 derniers mois (Santé Canada, 2024). De ceux-ci, 12 % ont conduit dans les 2 heures suivant la consommation par inhalation, et 8 % dans les 4 heures suivant une substance ingérée.

Du côté de l'Enquête québécoise sur le cannabis de 2023, sur un total de 13 209 répondants de 15 ans et plus, 9,7 % ont rapporté avoir conduit sous l'influence du

cannabis dans les 12 derniers mois (Institut de la statistique du Québec, 2024). Dans ce groupe, 1,0 % ont affirmé avoir conduit tous les jours ou presque, 0,8 % chaque semaine, 1,7 % chaque mois, 6,2 % moins d'une fois par mois et 90,3 % jamais. Ces données soulignent la fréquence non négligeable de la conduite après consommation.

Bien que les données de prévalence révèlent que certaines personnes choisissent de conduire après avoir consommé du cannabis, les motivations qui sous-tendent ce comportement sont peu connues. Certains travaux, notamment inspirés de la théorie du comportement planifié (Ajzen, 1991), suggèrent que l'intention d'adopter la CACC pourrait être influencée par la perception des risques (Arterberry et al., 2017; McDonald et al., 2021; Wickens et al., 2022). Par exemple, les consommatrices et consommateurs qui perçoivent de faible risque d'accident ou que le cannabis n'altère pas la conduite sont plus susceptibles de choisir de conduire après avoir consommé (Beaulieu-Thibodeau et al., 2023).

Toutefois, la décision pourrait aussi être influencée par l'évaluation que chacun fait de son propre état. En effet, la recherche dans le domaine de l'alcool suggère que de se sentir en état de conduire constitue le meilleur prédicteur de la décision de conduire en simulation de conduite après la consommation (Ouimet et al., 2020). Ces études semblent donc suggérer que la perception subjective occupe une place importante dans les processus de décision de conduire, mais ne renseignent pas sur la justesse de cette évaluation. Par exemple, la personne qui se sentait en état de conduire l'était-elle vraiment? De plus, ces

études ne précisent pas non plus les indices sur lesquels les personnes basent leur jugement. Évaluent-elles leurs capacités de conduite, leurs capacités cognitives ou d'autres indices? De telles évaluations impliquent des capacités plus fondamentales : la faculté de s'observer soi-même et de s'évaluer, c'est-à-dire la métacognition (Flavell, 1979).

Les consommatrices et consommateurs doivent donc prendre une décision pratique dans la vie quotidienne, soit de conduire ou non après avoir consommé. Cette décision pourrait reposer sur une évaluation de leur état, dont les bases sont mal comprises. De plus, elle s'effectue dans un contexte où les critères objectifs permettant d'en valider la justesse sont eux-mêmes incertains, puisque déterminer à quel moment il devient sécuritaire de reprendre le volant après avoir consommé du cannabis demeure une question sans réponse scientifique claire (McCartney et al., 2021), et ce, malgré des déficits cognitifs et psychomoteurs documentés (Crane et al., 2013; Zhornitsky et al., 2021). Cette incertitude s'explique en partie par une grande variabilité des effets du cannabis liés à sa pharmacologie.

Pharmacologie du cannabis et variabilité des effets

Le cannabis contient plus de 500 composés chimiques, dont une centaine appelés phytocannabinoïdes (ElSohly & Gul, 2014). Le delta-9-tétrahydrocannabinol (THC) et le cannabidiol (CBD) sont les deux phytocannabinoïdes les plus largement étudiés en neurosciences. Le THC, reconnu pour ses propriétés psychoactives (Zhornitsky et

al., 2021), et le CBD exploré pour ses potentielles propriétés thérapeutiques, exercent leurs effets principalement via leur interaction avec le système endocannabinoïde. Ce système comprend deux types de récepteurs principaux : CB1 et CB2 (Pertwee, 2008). Les effets du cannabis varient d'une personne à l'autre. La durée et l'intensité des effets peuvent varier en fonction de la dose, du mode d'administration, de la fréquence et de la durée d'utilisation, ainsi que du niveau de tolérance développé (Hartman & Huestis, 2013; Ramaekers et al., 2021). Par exemple, les différents modes de consommation par inhalation (fumée ou vaporisation) ou par ingestion orale (gélule, administration sublinguale) présentent des profils pharmacocinétiques distincts en termes de délai d'action et de durée d'effet. Les composés inhalés sont rapidement absorbés et acheminés dans la circulation sanguine pour atteindre le cerveau en quelques minutes, tandis que le cannabis ingéré doit passer par le tractus gastro-intestinal, où il est partiellement métabolisé par le foie avant d'atteindre la circulation sanguine. Par conséquent, un produit inhalé entraine des effets rapides, mais de courtes durées, tandis qu'un produit ingéré déclenche des effets plus lents mais plus prolongés en raison de processus d'absorption et de métabolisation distincts.

L'un des obstacles les plus importants dans l'étude des impacts du cannabis sur la cognition est celui d'obtenir une évaluation fiable des altérations. La simple mesure biologique du THC dans le sang n'est pas un indicateur fiable de l'état cognitif (Hartman & Huestis, 2013; Ramaekers et al., 2021; Spindle et al., 2018). Face à ces limites méthodologiques, il devient nécessaire de recourir à des méthodes d'évaluation cognitives

et comportementales, capables de mieux refléter l'état fonctionnel (Ramaekers et al., 2021). Cette approche s'avère d'autant plus importante que, dans certains cas, les comportements à risque peuvent découler non pas d'une transgression volontaire ou d'insouciance, mais d'une perception erronée de ses propres capacités.

Question générale de recherche

Cette problématique soulève une question centrale qui orientera la présente thèse : les consommatrices et consommateurs sont-ils de bons juges de leur propre état? Pour répondre à cette question, il est nécessaire de mieux connaitre leurs perceptions des effets du cannabis sur leur cognition et leur conduite, et comment ces perceptions sont comparées (ou non) à des indicateurs objectifs dans la littérature scientifique.

Évaluation des effets du cannabis

Dans la recherche, l'évaluation des effets du cannabis dans les domaines cognitifs et de conduite est réalisée par le biais de mesures objectives et subjectives. Les mesures objectives quantifient la performance cognitive et de conduite et les mesures subjectives documentent la perception subjective de ces performances par questionnaire autorapporté. Dans le contexte de la CACC, où la décision de prendre le volant après consommation peut dépendre en partie d'une autoévaluation de ses capacités (Ouimet et al., 2020), il devient important d'examiner dans quelle mesure les perceptions subjectives s'alignent, ou non, à la performance objective.

Les mesures objectives et subjectives sont généralement construites de manière standardisée pour tous les participantes et participants, caractérisées par l'uniformité des consignes, du matériel et des conditions de passation. Dans les études expérimentales contrôlées, ces mesures permettent d'examiner les effets dose-dépendants du THC, en comparant différentes doses à une condition de référence (niveau de base ou placebo). Elles peuvent être recueillies avant, pendant et après l'administration du THC, au cours d'une même session expérimentale. Cette méthode permet de suivre l'évolution temporelle des effets du cannabis, de caractériser les courbes dose-réponse, et de mieux comprendre la dynamique des changements induits par le THC dans le temps. Bien que les études cognitives en ligne aient déjà existé avant la pandémie de COVID-19 (Germine et al., 2012), celle-ci a contribué à renforcer l'intérêt pour le développement et l'adaptation de méthodes de collecte de données à distance, notamment en raison de la fermeture des laboratoires. L'utilisation de questionnaires et de tâches cognitives administrés sur ordinateur, tablette ou téléphone portable a permis de poursuivre certaines recherches (Leong et al., 2022).

Mesures objectives

Dans l'étude des effets aigus du cannabis sur la cognition, les méthodes objectives reposent sur la performance observée lors de tests neuropsychologiques. Ces tests sont des tâches structurées qui sont utilisées comme indice de processus cognitifs particuliers. Une tâche cognitive peut être perçue comme un jeu informatisé au cours duquel un ensemble de stimuli (p. ex., chiffres, lettres, formes visuelles ou des sons) sont présentés à l'écran,

accompagnés de consignes. Les stimuli constituent les éléments à traiter, c'est-à-dire les informations auxquelles doivent être appliquées une ou plusieurs opérations mentales, par exemple reconnaitre une forme, comparer une valeur, se souvenir d'un item, ou ignorer un distracteur selon les objectifs de la tâche. Les consignes données sous forme d'instructions, définissent les règles à suivre en précisant les actions attendues, par exemple appuyer sur une touche, sélectionner une option, ou s'abstenir d'agir, et dans quel délai elles doivent être produites.

Les capacités de conduire peuvent être évaluées objectivement, entre autres, à l'aide de simulateurs de conduite ou par des essais sur la route. La simulation, réalisée dans un environnement contrôlé, permet de reproduire des scénarios variés (conditions météorologiques, situations d'urgence, intégration de tâches multiples) sans risque pour la sécurité. Elle permet également de collecter différents indicateurs de performance liés à la maitrise du véhicule et aux comportements, notamment le contrôle du volant et des pédales, la vitesse, la position dans la voie, et la distance au véhicule précédent (Burt et al., 2022; Ghawami et al., 2024). Les essais sur route, moins souvent utilisés, offrent une validité écologique accrue avec des situations de conduite authentiques et imprévisibles (interactions avec les autres véhicules, les piétons et les variations de trafic). Parmi les indicateurs les plus fréquemment utilisés, l'écart-type de la position latérale du véhicule dans la voie (*Standard Deviation of Lateral Position*, ou SDLP) permet d'évaluer la stabilité du maintien dans la voie. Une valeur plus élevée reflète une plus grande variabilité de la position du véhicule par rapport au centre de la voie. Des méta-analyses montrent

que, sous l'effet du THC, cet indicateur augmente significativement, suggérant un contrôle latéral moins stable (McCartney et al., 2021; Simmons et al., 2022). D'autres variables de conduite peuvent aussi être affectées, par exemple le temps passé hors de la voie, la distance maintenue avec le véhicule précédent (Marcotte et al., 2022).

Mesures subjectives

Il importe de mieux comprendre comment les effets sont perçus par les personnes qui consomment du cannabis. Bien que le concept de métacognition soit peu utilisé dans la littérature sur le cannabis, la conception et l'opérationnalisation des mesures subjectives sont basées sur ce concept dans cette thèse. Cette approche permet d'interpréter l'autoévaluation comme un jugement sur soi-même et d'accéder à la conscience des personnes qui consomment dans l'évaluation et la détection des différences perçues dans leur fonctionnement.

Métacognition

La métacognition a été définie originalement comme la réflexion à propos de sa pensée (Flavell, 1979). L'idée est qu'une personne peut représenter et évaluer ses propres pensées et son fonctionnement et les réguler au besoin.

Un modèle théorique dans l'étude de la métacognition est celui proposé par Nelson et Narens (1994), qui distingue deux niveaux d'opérations mentales. Le niveau-objet (*object-level* en anglais) comporte les informations des pensées focalisées sur la tâche et

peut correspondre aux processus cognitifs eux-mêmes, par exemple la mémoire, l'attention (Nelson, 1990), les émotions et les affects (Efklides, 2008). Le niveau-méta (*meta-level* en anglais) comporte deux fonctions, la surveillance (monitoring) et le contrôle (Efklides, 2008; Flavell, 1979; Nelson & Narens, 1994). Le niveau-méta est informé par le niveau-objet via la fonction de monitoring, et modifie le niveau-objet par la fonction de contrôle (Nelson, 1990).

Monitoring : connaissance et expérience métacognitive. Dans la présente thèse, le monitoring métacognitif fait référence à l'évaluation ou le jugement qu'une personne porte sur son fonctionnement ou ses capacités. Cette évaluation peut être effectuée par questionnaire soit de manière rétrospective (mesure « offline ») ou sur le moment (mesure « online »). Ces deux formes de processus de monitoring renvoient respectivement aux connaissances et expériences métacognitives. Les connaissances métacognitives peuvent être déclaratives, et sont les idées et les croyances qu'une personne a acquises sur elle-même (Efklides & Schwartz, 2024). Par exemple, une personne peut rapporter qu'elle sait être facilement distraite par certains éléments de son environnement. Les expériences métacognitives comprennent notamment des sentiments, jugements ou estimations (Efklides, 2008) concernant l'état cognitif ou la performance. Elles émergent au cours d'une activité, d'une tâche ou d'un comportement, par exemple, sous la forme d'un sentiment de difficulté, d'incertitude ou de confiance à un moment donné.

Jugements : premier et second-ordre. Une personne peut faire un premier jugement sur ses capacités, et peut aussi faire un jugement sur son jugement, ce qui fait référence respectivement au premier et deuxième ordre de jugement (Strle, 2016). Avant la CACC, un conducteur peut émettre un premier jugement en évaluant s'il est apte à conduite (p. ex., « je me sens capable de conduire »). Ensuite il peut faire un jugement de second-ordre qui est le jugement de l'évaluation de premier ordre (p. ex., « ai-je bien évalué mes capacités »), en évaluant la justesse de son autoévaluation initiale.

Contrôle métacognitif. Le contrôle métacognitif constitue une fonction du niveau-méta, complémentaire au monitoring (Nelson & Narens, 1994). Alors que le monitoring informe sur l'état actuel du fonctionnement cognitif, le contrôle concerne la régulation et l'ajustement d'une activité cognitive ou comportementale.

Les processus métacognitifs sont donc particulièrement pertinents pour la CACC. Le monitoring correspond au jugement de son propre état, tandis que le contrôle représente le passage de cette conscience à l'action, par exemple décider d'attendre, ne pas conduire ou prendre un autre transport. Une personne peut se percevoir comme apte à conduire, malgré une altération réelle, ou une personne peut se sentir altérée et décider quand même de conduire. Donc, un bon monitoring est une première étape dans la prise de décision, mais il ne garantit pas à lui seul l'adoption d'un comportement adéquat.

Arrimer les connaissances in vitro à l'expérience in vivo. Comprendre comment les consommatrices et consommateurs de cannabis évaluent leur performance cognitive et de conduite est fondamental. Bien que la littérature documente abondamment les effets du cannabis mesurés à l'aide de mesures objectives sur diverses fonctions cognitives (Crane et al., 2013; Zhornitsky et al., 2021), les résultats provenant des mesures subjectives de la perception des capacités cognitives demeurent considérablement sous-représentés dans la recherche scientifique. La conduite automobile est une activité quotidienne complexe qui implique simultanément un large éventail de processus cognitifs, moteurs et perceptifs. Elle requiert notamment diverses capacités cognitives étroitement associées aux fonctions exécutives (FE) (Pergantis et al., 2024), comme l'illustrent plusieurs situations courantes de conduite. Par exemple, il est important d'être vigilant (attention soutenue), de s'adapter aux imprévus possibles de la route, par exemple aux conditions climatiques changeantes (flexibilité), de s'arrêter au feu rouge et respecter les limites de vitesse (inhibition), de se rappeler des indications du GPS ou maintenir en mémoire des informations pertinentes comme la nécessité de faire le plein d'essence (mémoire de travail), d'ignorer les distractions (attention sélective), de gérer simultanément plusieurs tâches à la fois telles que le contrôle du véhicule dans la voie, surveiller les rétroviseurs et les panneaux de signalisation (attention divisée), ainsi que d'évaluer les risques avant d'effectuer un dépassement (prise de décision). Ces exemples illustrent comment certaines FE décrites précédemment dans le contexte cognitif général trouvent une application dans la conduite.

Cognition

Plusieurs modèles théoriques sur le fonctionnement cognitif ont été développés au fil des années et selon les disciplines. De manière générale, ces modèles proposent différentes façons de conceptualiser et classifier les processus cognitifs impliqués dans le traitement de l'information, la régulation des pensées, des émotions et des actions, ainsi que dans l'adaptation aux situations nouvelles ou complexes (Diamond, 2013). Les phénomènes cognitifs comprennent notamment l'inhibition, la mise à jour de la mémoire de travail, la flexibilité, la résistance à l'interférence, l'attention soutenue, la planification et la résolution de problème (Baggetta & Alexander, 2016; Chan et al., 2008; Jurado & Rosselli, 2007; Miyake et al., 2000).

Dans le domaine du cannabis, ces phénomènes cognitifs sont regroupés sous les termes génériques tels que « fonctions exécutives » (FE), « contrôle cognitif », « neurocognition », ou plus simplement « cognition » (Bourque & Potvin, 2021; Broyd et al., 2016; Crane et al., 2013; Dellazizzo et al., 2022; Kroon et al., 2021; Matheson & Le Foll, 2023; McCartney et al., 2021; Ramaekers et al., 2021).

Mesures objectives de la cognition

Une méta-analyse récente sur les effets du cannabis regroupe les tests neuropsychologiques des études en neuf domaines cognitifs, dont les FE comprenant les fonctions de raisonnement, d'organisation, de planification, d'abstraction et de flexibilité (Zhornitsky et al., 2021). Des altérations significatives sont soulevées sur la mémoire de

travail, avec une taille d'effet de 0,514, la vitesse de traitement (taille d'effet de 0,384) et les FE (taille d'effet de 0,370). Des tailles d'effets faibles sont rapportées pour l'impulsivité (0,294) (inhibition de réponse et prise de décision liée à la récompense) et l'attention (0,223) (sélective, divisée et soutenue). Ces résultats montrent que plusieurs domaines cognitifs peuvent être affectés par le cannabis, avec des tailles d'effets variables selon les fonctions évaluées.

Mémoire de travail. La mémoire de travail consiste à maintenir et manipuler de l'information temporairement dans un état mental accessible. Elle repose sur deux types de représentations mentales : les représentations déclaratives, qui correspondent au contenu à manipuler (donnée), et les représentations procédurales (plans ou règles), qui guident la manière dont ce contenu est traité (D'Esposito & Postle, 2015). La tâche de l'empan de chiffre (Beatty, 1982) permet de tester ces représentations selon la règle donnée, soit en ordre direct ou inverse. Par exemple, dans la condition dans laquelle une série de chiffres doit être rappelée dans l'ordre direct, c'est-à-dire de maintenir le contenu présenté dans l'ordre de présentation. Dans la condition ordre inverse, le rappel doit commencer par le dernier chiffre présenté ce qui sollicite la fonction de maintenance ainsi que la manipulation mentale des informations. Une autre tâche populaire qui implique ces deux fonctions de la mémoire de travail est la *N-Back* (Kirchner, 1958), où il faut identifier si un stimulus présenté correspond à celui présenté un certain nombre d'essais auparavant (1-back, 2-back, 3-back, etc.). Ainsi le contenu qui ne correspond pas à la règle doit être mis à jour, c'est-à-dire, qu'il doit être remplacé par l'information pertinente.

Sous l'effet du THC, des études d'empan ont rapporté une diminution du nombre d'items correctement rappelés sous différents modes d'administration. Englund et al. (2023), avec une dose de 10 mg de THC vaporisé, rapportent un effet significatif sur l'ordre direct, et non sur l'ordre inverse. McDonald et al. (2003), après une administration orale de 7,5 et 15 mg de THC, ne rapportent pas d'effet sur l'ordre direct, mais en observent un dans l'ordre inverse, alors que Ballard et al. (2011) ne rapportent aucun effet significatif sur l'ordre inverse après 2,5 mg de THC en capsule. Dans la tâche du *N-back*, plusieurs études ont montré une réduction du taux de réponses correctes après administration de THC, en particulier lorsque la charge cognitive est élevée (2-back ou plus) (Bhattacharyya et al., 2015; Morrison et al., 2011).

Flexibilité. La flexibilité désigne la capacité à adapter ses pensées et comportements en réponse à des exigences de l'environnement ou des objectifs, par exemple, passer d'une opération mentale ou d'un comportement à un autre. La tâche du *Wisconsin Card Sorting Test* (WCST) (Rotheram-Fuller et al., 2004) nécessite de détecter des changements de règles de classification en fonction des rétroactions fournies. Une étude expérimentale menée auprès de personnes qui consomment régulièrement du cannabis a montré une diminution significative de la performance de la flexibilité sous l'effet du THC, notamment par l'augmentation des erreurs de persévération lors de changement de catégorie et une diminution du nombre de catégories correctement identifiées (Weinstein et al., 2008).

Inhibition. L'inhibition est un concept complexe qui n'a pas de définition unique et qui est fréquemment interchangé avec la notion d'impulsivité (Nigg, 2017). Deux catégories principales sont communément identifiées : l'inhibition comportementale et l'inhibition cognitive (Frings et al., 2024; Talsma, 2023).

Inhibition cognitive. L'inhibition cognitive fait référence à la suppression ou à l'atténuation de représentations mentales inappropriées ou obsolètes, qu'il s'agisse d'une pensée, d'une perception ou d'une émotion (Frings et al., 2024; Talsma, 2023). Ce processus est également désigné sous les termes de résistance à l'interférence ou de contrôle de l'interférence, dans la mesure où il implique la capacité à ignorer des informations non pertinentes ou distrayantes (Bari & Robbins, 2013). Cependant, la recherche sur le THC ne semble pas s'y être intéressé.

Inhibition comportementale. L'inhibition comportementale est plus fréquemment mentionnée dans la littérature sur le cannabis. Elle est reconnue comme une composante multidimensionnelle incluant au moins deux indices d'impulsivité : l'action impulsive motrice et le choix impulsif. L'impulsivité motrice réfère à la difficulté à arrêter, retenir ou reporter une action planifiée ou déjà amorcée et le choix impulsif, fait référence à l'impulsivité décisionnelle liée à la gratification différée et se manifeste lorsqu'une récompense immédiate est choisie au détriment d'un gain plus important, mais retardé (Bari & Robbins, 2013).

L'impulsivité motrice est classiquement évaluée à l'aide de la tâche du *Stop-Signal Task* (SST) (Verbruggen et al., 2019), qui mesure le temps requis pour inhiber une réponse déjà amorcée après l'apparition d'un signal d'arrêt, un indice appelé *Stop-Signal Reaction Time* (SSRT). Plusieurs études ont rapporté que le THC allongeait le SSRT comparativement à la condition placebo, suggérant une altération du contrôle inhibiteur moteur (McDonald et al., 2003; Metrik et al., 2012; Ramaekers et al., 2006). Dans l'étude de McDonald et al. (2003), la tâche *Time Reproduction Task* a révélé une surestimation de la durée des intervalles courts, tandis qu'aucun effet significatif du THC n'a été observé à la tâche *Go/No-Go* (Newman et al., 1985), qui mesure la capacité à inhiber une réponse inappropriée. Le choix impulsif mesuré à l'aide du *Delay Discounting Task* (Richards et al., 1999), consiste à choisir entre une récompense immédiate de moindre valeur et une récompense plus importante mais différée, n'a pas rapporté de différence entre les conditions THC et placebo. Ce manque d'effet se trouve également dans la tâche *Balloon Analogue Risk Task* (BART) (Lejuez et al., 2002) une tâche attribuée à la prise de risque qui simule la prise de risque dans un contexte dans lequel chaque décision est associée à un gain potentiel, mais aussi au risque de tout perdre (Desrosiers et al., 2015; Metrik et al., 2012). Au contraire, le *Matching Familiar Figures Test* (MFFT) (van Wel et al., 2012), une mesure de l'impulsivité réflexive, c'est-à-dire de répondre rapidement sans prendre le temps d'évaluer les options possibles dans un contexte de résolution de problèmes impliquant plusieurs alternatives, a montré des effets du THC (van Wel et al., 2013). Ces résultats indiquent que les effets du THC peuvent varier selon le type d'impulsivité mesuré.

Attention. Le concept de l'attention est utilisé pour désigner plusieurs processus cognitifs. Trois types d'attention peuvent être distingués : l'attention divisée, l'attention soutenue et l'attention sélective (Talsma, 2023).

Attention divisée. L'attention divisée désigne la capacité à exécuter plus d'une tâche simultanément. Elle est fréquemment testée à l'aide de la *Divided Attention Task* (DAT), reconnue pour sa sensibilité aux effets du THC (Vandrey et al., 2017). Dans la version utilisée par Ramaekers et al. (2009, 2011, 2016), deux tâches doivent être effectuées simultanément. La tâche primaire sollicite un contrôle visuomoteur et requiert de garder un curseur centré à l'écran avec un joystick malgré des mouvements de plus en plus rapides et difficiles à contrôler. La tâche secondaire consiste à surveiller des chiffres apparaissant en périphérie à l'écran et à réagir lorsqu'un chiffre cible apparait. Ces études rapportent une baisse de performance associée au THC comparativement à la condition placebo (Ramaekers et al., 2009, 2011, 2016). Une autre version, dans laquelle la tâche secondaire demandait de résoudre des opérations arithmétiques n'a pas donné de résultat significatif (Ronen et al., 2010). La divergence entre les résultats invite à considérer les différences méthodologiques de la tâche secondaire, une portant sur la détection de stimuli en périphérie du champ de vision et l'autre de nature arithmétique.

Attention soutenue. L'attention soutenue, ou vigilance, désigne la capacité à maintenir son focus attentionnel sur une période prolongée. Cette fonction est fréquemment évaluée par la *Psychomotor Vigilance Task* (PVT) et *Rapid Visual*

Information Processing Task (RIVP). Dans la PVT, il est demandé de réagir le plus rapidement possible à des signaux visuels qui apparaissent de façon imprévisible à l'écran, pendant plusieurs minutes. Cette tâche permet de mesurer les temps de réaction, la stabilité attentionnelle, ainsi que la fréquence des ralentissements marqués, appelés lapsus attentionnels (ou omission). La RIVP repose sur la surveillance d'une séquence continue de chiffres pour détecter des combinaisons cibles, ce qui implique un traitement rapide et constant de l'information visuelle. Sous l'effet de 13,5 % de THC vaporisé, les lapsus sont plus fréquents et les temps de réaction plus lents, suggérant une altération de la vigilance (Mason et al., 2019, 2021; Ramaekers et al., 2022). Avec la tâche RIVP, un allongement des temps de détection est observé à la suite de l'administration intraveineuse de 0,05 mg/kg de THC (Ranganathan et al., 2019), alors que d'autres travaux n'ont pas mis en évidence d'effet du THC sur cette autre mesure après 0,015 et 0,03 mg/kg de THC inhalé (Boggs et al., 2018) ou de 15 mg de THC en capsule (Curran et al., 2002; Sugarman et al., 2011). Ces divergences pourraient être liées à une différence entre les doses et modes d'administrations.

Attention sélective. L'attention sélective est la capacité à se concentrer (focus) sur une tâche donnée et à sélectionner les éléments pertinents tout en ignorant les distractions. La tâche *Go/No-Go* (Rubia et al., 2001), étiquetée comme mesurant l'attention sélective et l'inhibition motrice n'a rapporté aucun effet significatif du THC (Atakan et al., 2013). Le *Continuous Performance Test* (CPT) est une tâche couramment utilisée dans l'étude des fonctions attentionnelles, bien que son interprétation fonctionnelle varie d'une étude

à l'autre. La tâche consiste à détecter des cibles parmi une série de stimuli, tout en évitant les erreurs d'omission. Certaines recherches l'associent à l'attention sélective – notamment lorsque l'accent est mis sur la capacité à résister à la distractibilité (D'Souza et al., 2004, 2008). Elles rapportent une augmentation des erreurs d'omission sous l'effet du THC. D'autres études récentes considèrent le CPT comme une mesure de l'attention soutenue et sélective (Matheson et al., 2020; Wickens et al., 2022). Ces études n'ont toutefois trouvé aucun effet significatif du cannabis.

Perception du temps. La perception du temps est notamment évaluée à l'aide de tâches de reproduction et de production du temps. Dans la tâche de reproduction du temps, un stimulus visuel ou auditif est présenté pendant une durée donnée et la durée de présentation de ce stimulus doit ensuite être reproduite, par exemple en appuyant sur une touche pendant la durée qui semble équivalente. Dans la tâche de production du temps, il faut produire un intervalle de temps demandé, par exemple en appuyant sur une touche lorsqu'il est estimé que cinq secondes se sont écoulées. Toutefois, des différences méthodologiques concernant le type de stimuli et de réponse, les durées présentées ainsi que le mode d'administration du THC, peuvent rendre complexe la comparaison des résultats entre les études. Dans une étude utilisant une administration par voie intraveineuse, une surestimation de la durée d'un intervalle dans une tâche de reproduction du temps et une sous-production d'un temps cible dans une tâche de production du temps ont été rapportées chez les personnes qui consomment occasionnellement du cannabis, alors que ces effets n'étaient pas observés chez celles qui en consomment (Sewell et

al., 2013). D'autres études n'ont pas rapporté d'effet significatif du THC administré en capsule sur ces deux tâches chez des personnes qui consomment de façon occasionnelle ou fréquente (Lile et al., 2014; Pabon et al., 2019).

Psychomotricité. Les habiletés psychomotrices regroupent l'ensemble des processus permettant la coordination rapide et précise entre la perception d'un stimulus et la production d'une réponse motrice. Sous l'effet du THC, des études rapportent une réduction significative de la performance à la tâche *Critical Tracking Task* (Arkell et al., 2019; Marcotte et al., 2022; Spindle et al., 2018, 2021). De même, dans la tâche *Paced Auditory Serial Addition Task* (PASAT), qui exige une réponse rapide et continue à des stimuli auditifs, les résultats montrent un ralentissement du temps de réaction lors d'essais réussis, ainsi qu'une diminution du nombre total de réponses correctes (Arkell et al., 2022; Schlienz et al., 2020; Sholler et al., 2021; Spindle et al., 2018, 2021).

Perspective neurocognitive

Les effets recensés dans les sections précédentes montrent que le THC affecte de multiples processus cognitifs, mais leur interprétation demeure difficile en raison de l'hétérogénéité des définitions et des tâches. Une approche structurelle divise la cognition en construits séparés, tandis qu'une approche fonctionnelle permet d'organiser différentes fonctions ensemble. Dans cette thèse, une perspective fonctionnelle a été retenue afin de mieux comprendre les effets neurocognitifs du cannabis. D'un point de vue neuroanatomique et neurochimique, un modèle préliminaire intégrant les données de

neuroimagerie est également proposé afin de mieux intégrer les effets neurocognitifs du cannabis (Ramaekers et al., 2021). Le modèle repose sur la modulation des circuits neuronaux et suggère que le THC entrainerait des changements dans les circuits mésocorticolimbiques et de la récompense par la modulation de la neurotransmission de dopamine, le GABA, le glutamate et l'acétylcholine. Bien que ce modèle ne distingue pas explicitement les voies D1/D2, il présente des similarités avec le modèle dopaminergique de la stabilité et flexibilité cognitive qui propose une distinction fonctionnelle entre différents systèmes dopaminergiques impliqués dans le contrôle cognitif. L'émergence du contrôle cognitif serait réalisée par la neurotransmission d'au moins deux systèmes dopaminergiques : la voie mésocorticale et la voie nigrostriatale (Cools, 2016). La voie mésocorticale, impliquant les récepteurs D1, projette de l'aire tegmentale ventrale (ATV) vers le cortex préfrontal et supporte la stabilité. La stabilité ou la persistance est caractérisée par la maintenance et le focus actif des représentations mentales pertinentes (objectif, règle, information) en mémoire de travail, et par leur protection contre les distractions internes ou externes (Cools, 2016, 2019). La voie nigrostriatale, impliquant les récepteurs D2 projette de la substance noire vers le striatum et soutient la flexibilité. Un mode de fonctionnement flexible permet l'adaptation des pensées et des comportements selon le contexte de situations changeantes. Il se manifeste notamment par la mise à jour des représentations en mémoire de travail, c'est-à-dire par l'ajout, la modification, ou le retrait d'informations (Cools, 2016) et facilite l'exploration d'alternatives. Ces modèles ne permettent pas d'établir une correspondance directe entre les processus cognitifs et les substrats neuronaux, car les recherches sont limitées.

Toutefois, ils contribuent à la réflexion sur l'élaboration d'hypothèses mécanistiques sur les effets neurocognitifs du cannabis pour des travaux futurs.

Mesures subjectives de la cognition

Différents outils ont été employés dans les études sur le cannabis pour évaluer les états subjectifs. Toutefois, aucun de ces questionnaires n'a été conçu pour évaluer l'ensemble des FE dans le contexte de la consommation de cannabis. Le contenu des questionnaires portant sur des aspects du fonctionnement cognitif est présenté ci-dessous afin d'illustrer les outils existants et leurs limites dans l'évaluation des FE en contexte de consommation de cannabis. Les échelles visuelles analogues (Bond & Lader, 1974) sont relativement populaires et permettent d'indiquer l'intensité perçue d'un ressenti ou d'un état sur un continuum de 100 mm allant de *Pas du tout* (0 mm) à *Extrêmement* (100 mm). Différents domaines sont investigués, par exemple les effets d'une drogue, les symptômes physiques et quelques items sur la cognition et la conduite. Les items qui portent sur la cognition sont généraux, et peu diversifiés pour la mémoire, l'attention, la confusion, etc. Le *Profile of Mood States* (POMS; McNair et al., 1981) est utilisé pour évaluer les variations d'humeur. Il est composé de 65 adjectifs sur une échelle allant de *Pas du tout* (0) à *Extrêmement* (4). Le questionnaire comprend six sous-échelles : E1 (dépression : « sans espoir », « malheureux »), E2 (colère : « furieux »), E3 (anxiété : « nerveux »), E4 (vigueur : « actif ») E5 (fatigue : « épuisé ») et E6 (confusion : « incapable de se concentrer » et « tendance à oublier »). Bien que le POMS évalue principalement l'humeur, la sous-échelle de confusion comporte des items relatifs à certains aspects

subjectifs du fonctionnement cognitif. Le *Barratt Impulsiveness Scale* (BIS-11; Patton et al., 1995) est un questionnaire qui comprend 30 items avec une échelle de Likert à 4 points allant de *Rarement/jamais* (1) à *Presque toujours* (4). Il est largement utilisé pour évaluer l'impulsivité selon trois dimensions principales : l'impulsivité attentionnelle, l'impulsivité motrice, et l'impulsivité liée à la non-planification. Une traduction française a été réalisée et comprend des échelles différentes : l'impulsivité orientée vers la réflexion, l'impulsivité orientée vers la résolution de problème, l'impulsivité orientée vers la planification future : « Je prépare soigneusement les tâches à accomplir », l'impulsivité orientée vers la gestion financière : « J'achète les choses sur un coup de tête » et l'impulsivité orientée vers la concentration : « Je me concentre facilement ») (Gélinas et al., 2015).

D'autres questionnaires comme le *Marijuana Effect Expectancies Questionnaire* (MEEQ; Schafer & Brown, 1991; version française : Schmits et al., 2016) et le *Cannabis Expectancy Questionnaire* (CEQ; Connor et al., 2011; Young & Kavanagh, 1997) évaluent les attentes à l'égard des effets du cannabis incluant quelques items sur l'altération cognitive et comportementale, par exemple sur la concentration, la motivation et la perception du temps et des distances.

De manière plus générale, des outils existent pour interroger la perception du fonctionnement cognitif, notamment les questionnaires *Behavior Rating Inventory of Executive Function – Adult version* (BRIEF-A; Roth et al., 2005), *Barkley Deficit in*

Executive Functioning Scale (BDEFS; Barkley, 2012), et *Dysexecutive Questionnaire* (DEX; Burgess et al., 1998). Toutefois, ces questionnaires ne sont pas spécifiquement adaptés au contexte de cannabis, mais peuvent servir de références pour l'élaboration d'items de futurs questionnaires.

Le BRIEF est un instrument de 75 items qui examine les FE. Il comporte neuf échelles sur le fonctionnement exécutif : E1 (inhibition : « suis impulsif(ve) »), E2 (flexibilité cognitive : « difficultés pour passer d'une activité à l'autre »), E3 (contrôle émotionnel), E4 (autorégulation/contrôle de soi), E5 (initiation), E6 (mémoire de travail : « difficultés pour me concentrer sur les tâches », « difficultés pour faire plus d'une chose à la fois »), E7 (planification/organisation), E8 (contrôle de la tâche) et E9 (organisation du matériel : « perds mes affaires », « suis désorganisé(e) »). Ces neuf échelles sont regroupées en deux catégories : C1 (indice de régulation comportementale) et C2 (indice de métacognition). Le BRIEF intègre des items relevant des processus d'attention soutenue dans l'échelle de mémoire de travail.

Le BDEFS est un outil d'autoévaluation sur les FE dans la vie quotidienne. Quatre-vingt-neuf items (échelle de Likert à 4 points allant de *Rarement ou pas du tout* [1] à *Très souvent* [4]) sont divisés en cinq dimensions : gestion de soi dans le temps : « mauvaise perception du temps », « difficulté à organiser son travail selon ses priorités ou importance », auto-organisations/résolution de problème : « facilement distrait par des évènements ou des pensées non pertinents », « a du mal à considérer diverses options pour

faire les choses et à peser leurs conséquences », autocontrôle/inhibition : « prend des décisions de manière impulsive », automotivation et autorégulation des émotions.

Le DEX comporte 20 items utilisés pour évaluer les FE sur une échelle de Likert à 5 points, allant de *Jamais* (0) à *Très souvent* (4). Il comporte trois échelles : l'inhibition : « agir sans réfléchir et faire la première chose qui me passe par la tête », intentionnalité : « difficulté à maintenir l'attention et facilement distrait », « difficultés à prendre des décisions » et la mémoire exécutive.

À ce jour, il n'existe aucun questionnaire standardisé spécifiquement conçu pour évaluer l'ensemble des FE dans le contexte de la consommation de cannabis. Les échelles existantes incluent parfois des items généraux sur la cognition. D'autres instruments, tels que le MEEQ et le CEQ, portent principalement sur les attentes et non sur la cognition en particulier. La version française du MEEQ évalue les attentes à l'égard des effets du cannabis. Il comporte 31 items (échelle de Likert en 5 points allant de *Pas du tout d'accord* [1] à *Tout à fait d'accord* [5]) répartis en six sous-échelles : altération cognitive et comportementale : « Si j'ai fumé du cannabis, il est plus dur pour moi de me concentrer et de comprendre ce qui est dit », « Le cannabis change ma perception du temps et des distances », « Le cannabis ralentit mes réactions », relaxation/réduction de la tension : « Quand je fume du cannabis, je ne me sens pas angoissé », amélioration perceptive et cognitive : « J'ai l'impression que je peux mieux me focaliser sur une chose particulière quand je fume du cannabis », effets négatifs globaux : « Le cannabis me fait dire des

choses que je pense pas », et facilitation sociale et sexuelle. Le CEQ est un questionnaire composé de 60 items (échelle de Likert à 5 points, allant de *Fortement en désaccord* [1] à *Fortement d'accord* [5]), visant à évaluer les attentes positives (« Fumer du cannabis aide à me concentrer ») et négatives (« Quand je fume du cannabis, je suis moins motivé ») liées aux effets de la consommation de cannabis.

Mesures subjectives et objectives dans les études sur la cognition et la conduite

Cette section regroupe les études comportant des mesures subjectives liées aux effets du cannabis, utilisées soit seules ou en parallèle à des tâches cognitives ou de conduite. Certaines études présentées combinent les mesures subjectives et objectives, sans toutefois en analyser la correspondance, tandis que d'autres examinent la relation entre les deux. Ces travaux abordent donc différents types de validité, notamment la validité de construit des mesures subjectives lorsqu'elles évaluent la perception des capacités cognitives et de conduite, ainsi que la validité convergente ou concurrente lorsqu'elles sont mises en relation avec des indicateurs objectifs de performance. Dans l'ensemble, ces travaux permettent de rendre compte de la place accordée aux perceptions subjectives dans l'étude des effets du cannabis sur la cognition et la conduite.

Deux études ont adopté une approche rétrospective afin de comparer les effets positifs et négatifs associés au cannabis sous forme séchée et à des concentrés de cannabis comme l'huile de haschisch au butane (Chan et al., 2017; Okey & Meier, 2020). Par exemple, les effets de différents types de cannabis (fort vs faible en THC), ont été évalués au moyen

de questions autorapportées, sans passation de tâche cognitive. Ces études rapportent des effets tels que la distraction ou l'oubli ont été rapportés, bien que leur fréquence diffère entre les études. De plus, les questionnaires utilisés portaient principalement sur des effets généraux (positifs vs négatifs), avec peu de questions directement liées à des fonctions cognitives précises.

Dans le domaine de la conduite, une revue systématique confirme cette problématique en soulignant que, malgré l'inclusion de mesures subjectives dans les études de conduite, peu ont testé statistiquement leur correspondance avec les indicateurs objectifs (Love et al., 2023). Ce manque dans les analyses comparatives représente une limite majeure de la littérature actuelle et empêche de déterminer dans quelles mesures les consommatrices et consommateurs ont conscience de leurs altérations.

Plusieurs études n'ont pas posé de question spécifique sur la cognition ou la conduite, mais ont plutôt inclus des mesures subjectives générales, dont l'effet du « high » ou d'euphorie, et le niveau d'alerte accompagné de tâches de performance cognitive, mais sans faire la relation entre les types de mesures. Une augmentation significative du « high » a été observée dans plusieurs études, ainsi qu'une diminution de la performance à la tâche *Critical Tracking Task* (CTT), SST et la *Tour de Londres* (Ramaekers et al., 2006), DAT (Ramaekers et al., 2011), *Flanker* (Kowal et al., 2015) et CPT (D'Souza et al., 2004, 2008). D'autres ont rapporté une diminution du sentiment d'être alerte et une diminution de la performance à la tâche DAT (Schlienz et al., 2020; Vandrey et al., 2017).

Certaines recherches incluent à la fois des mesures subjectives et objectives, que ce soit pour la cognition ou pour la conduite. La majorité de ces études ne rapportent pas d'analyses entre les deux types de mesures. Parmi ces travaux, deux études illustrent cette limite en ayant recueilli des mesures subjectives en parallèle de tâches cognitives sous l'influence du THC. Des échelles visuelles analogues ont été utilisées pour évaluer une variété de domaines subjectifs. Concernant la cognition, des items sur la concentration et la mémoire sont rapportés comme altérés sous THC (Curran et al., 2002; Hunault et al., 2009). Cependant, les résultats subjectifs n'ont pas été mis en relation avec la performance aux tâches cognitives.

Dans le domaine de la conduite, des études ont évalué la performance sur simulateur accompagnée d'une évaluation subjective. Sous l'effet du THC, un résultat particulièrement préoccupant est que la volonté de conduire a été rapportée malgré une diminution significative de la performance (Marcotte et al., 2022; Meda et al., 2025).

D'autres données provenant d'une étude randomisée, en double-aveugle et devis croisé intra-sujet, ont montré un alignement potentiel entre les mesures subjectives et objectives. Dans cette étude, la performance et la perception de la capacité de conduire ont été significativement réduites sous cannabis, les deux allant donc dans le même sens (Arkell et al., 2019).

Une étude a mis en relation la perception de la capacité et de la sécurité à conduire, avec la performance à des tâches d'attention divisée et sélective à divers moments après l'inhalation d'une dose de 100 mg de THC. Les résultats montrent une corrélation faible à 5h post-consommation entre la performance à la tâche d'attention divisée et la perception subjective (se sentent moins aptes et ont aussi une performance réduite), et aucune corrélation significative à 1 et 3h post-consommation (Ogourtsova et al., 2018). Donc, à 5h la perception subjective semble aller dans le même sens que la performance, ce qui pourrait suggérer un certain d'alignement entre le jugement et la performance lorsque les effets commencent à se dissiper, tandis que l'absence de corrélation à 1h et 3h pourrait suggérer que les altérations ne sont pas évaluées aussi précisément durant la phase plus aiguë des effets. Ce type de contribution, combinant mesures objectives et subjectives, suggère que l'alignement entre perception et performance pourrait varier selon le moment d'évaluation et la tâche utilisée. Ces résultats soulignent l'importance de mieux documenter les conditions dans lesquelles les personnes qui consomment sont capables de détecter et d'évaluer leurs propres altérations cognitives ou comportementales.

Du côté de la cognition, une étude d'exception documente la précision métacognitive en comparant les mesures subjectives et objectives (Adam et al., 2020). Durant une tâche de mémoire de travail visuelle, le nombre de réponses confiantes (jugement de confiance) et le nombre de réponses correctes (performance) ont été corrélés et les résultats ont mis en évidence une diminution de l'indice de la précision métacognitive par rapport à la condition placebo.

Du côté de la conduite, une étude a évalué la relation entre la confiance à conduire et des mesures objectives (SDLP, temps de réaction), à différents moments post-consommation et en fonction de l'historique de consommation. Les résultats révèlent des corrélations significatives à court terme (30 à 90 minutes), mais qui s'estompent avec le temps, particulièrement lorsque la consommation est régulière (Hartley et al., 2023).

Une autre étude récente a également exploré la relation entre perception et performance, mais dans une perspective différente (Burt et al., 2022). Plutôt que d'évaluer la justesse des jugements métacognitifs portant sur la capacité de conduite s'apparentant plus à la validité convergente, cette étude a examiné la validité de critère, notamment prédictive de certains états subjectifs (p. ex., se sentir « high », « stoned », « sedated » ou « anxieux »), en les associant à des indicateurs objectifs de conduite. Ces indicateurs incluaient notamment des mesures de contrôle latéral et longitudinal, comme le SDLP, et des variables liées aux actions du conducteur sur le véhicule, comme la fréquence des ajustements et le taux d'inversion du volant. Si certaines perceptions ont été liées à des mesures objectives, ces analyses n'examinent pas la correspondance entre la perception de sa capacité et la performance.

Limites et problématique

En résumé, l'état actuel de la littérature scientifique soulève un manque d'information sur la perception des effets du cannabis sur les capacités cognitives et de conduite. Les études montrent que des données subjectives existent, mais elles ne sont que rarement

exploitées pour examiner leur concordance avec les mesures objectives, malgré leur caractère informatif. Quelques travaux suggèrent un décalage potentiel entre ce que les personnes perçoivent et leur performance, et constituent une première base pour explorer l'alignement entre perception et performance. La question de savoir si les altérations sont détectées et évaluées adéquatement demeure largement ouverte, tant pour la cognition que la conduite.

Objectif

La présente thèse propose de contribuer à cette question en explorant si les consommatrices et consommateurs de cannabis sont bons juges de leurs capacités ou limites en introduisant une perspective métacognitive dans le domaine des effets du cannabis. Le premier article consiste en une revue systématique des études en laboratoire évaluant les effets aigus du cannabis sur les fonctions cognitives et la conduite. L'objectif est d'examiner dans quelle mesure les expériences métacognitives liées au cannabis s'alignent avec ce que la recherche utilisant des mesures objectives suggère des effets sur la cognition et la conduite. Le deuxième article explore les connaissances métacognitives à l'état à jeun à partir d'un questionnaire en ligne sur la perception de leurs capacités cognitives selon différents états : l'état normal ou à jeun (sans consommation de cannabis), sous l'effet du cannabis et après la dissipation des effets. À des fins d'uniformité, les termes suivants seront utilisés pour référer à chacun des états : sans cannabis ou à jeun, sous l'effet et après cannabis. Cette étude vise à caractériser les

différences dans les effets et à identifier les dimensions cognitives qui émergent de ces jugements.

Le travail initialement prévu pour cette thèse a été substantiellement altéré par la pandémie COVID-19. En effet, un important projet en laboratoire devait commencer au printemps 2020, mais n'a pu être réalisé. Un travail substantiel pour transformer cette batterie de mesures afin de l'administrer en ligne a été complété entre 2021-2022, mais l'échéancier du programme d'étude ne permettait plus de l'inclure dans cette thèse. Vu l'ampleur de ce travail et les apprentissages associés, ce projet en suspens est détaillé dans l'Appendice.

S'intéresser aux connaissances et expériences métacognitives peut fournir des indices importants sur la façon dont les consommatrices et consommateurs perçoivent les effets du cannabis sur leur propre cognition et leur conduite. En identifiant ce qu'elles et ils savent ou croient savoir des effets du cannabis sur leurs propres capacités, il devient possible de cibler les zones d'incertitude ou d'erreurs d'estimation, et de contribuer ainsi à orienter le développement d'interventions éducatives et préventives visant à renforcer leur capacité à juger de manière autonome et efficace, en prenant conscience de leur propre état.

Résumé substantiel en français – Article scientifique 1

Objectif

De nombreuses études en laboratoire documentent les effets du cannabis (THC) sur les capacités cognitives et de conduite mesurées de manière objective, mais comment les consommatrices et consommateurs perçoivent ces effets est peu connu. L'objectif était d'explorer les expériences métacognitives et leur concordance avec les mesures objectives dans les domaines de la cognition et la conduite.

Méthode

Une revue systématique a été menée sur les études en laboratoire ayant une condition de consommation de THC et une condition contrôle, comportant des mesures objectives et/ou subjectives sur la cognition et/ou la conduite. Les articles incluant à la fois une mesure objective et une subjective sur un des deux domaines ont été retenus pour les analyses.

Résultats

Les résultats montrent une association significative entre le type de mesure (objectif et subjectif) et le type de résultat (positif, négatif ou non significatif) pour la cognition et la conduite. Les effets négatifs sont plus fréquents pour les mesures subjectives dans les deux domaines et plus marqués pour le domaine de la conduite.

Discussion

Globalement, les effets ressentis seraient négatifs, ce qui pourrait suggérer un certain alignement entre l'expérience métacognitive et la performance objective. Cependant, il est important de tenir compte de la présence d'hétérogénéité conceptuelle et méthodologique, particulièrement pour la cognition, qui rend difficile la comparaison entre les données subjectives et objectives. Des études futures comportant des mesures subjectives qui reflètent mieux les mesures objectives sont nécessaires pour faciliter leur comparaison.

Conclusion

De manière exploratoire, la présente revue systématique souligne donc l'importance de l'inclusion et de l'analyse des expériences métacognitives dans les études futures. Mieux connaitre si les consommatrices et consommateurs de cannabis évaluent adéquatement leurs capacités cognitives et de conduite permettrait de guider le développement de stratégies de prévention et d'interventions.

Article scientifique 1

Characterizing subjective and objective effects following cannabis use on cognition and driving: a systematic review

Characterizing subjective and objective effects following cannabis use on cognition and driving: a systematic review

Stéphanie Lavoie* & Sylvain Sirois

Département de psychologie, Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières (Qc), Canada

* Corresponding author.

E-mail address: stephanie.lavoie3@uqtr.ca

Lavoie, S., & Sirois, S. (2025). Characterizing subjective and objective effects following cannabis use on cognition and driving: A systematic review. *Drugs: Education, Prevention and Policy*, 1-16. https://doi.org/10.1080/09687637.2025.2595253

Abstract

Background: Acute cannabis (THC) use may affect cognition and driving skills. However, it remains uncertain whether this objectively demonstrated alteration is perceived in the same way by consumers. The aim of this review was to examine the influence of acute cannabis (THC) use on objective and subjective measures and explore their concordance in cognition and driving. *Methods:* A systematic review was conducted, including studies evaluating the acute effects of THC on cognitive and driving performance as well as the corresponding subjective perceptions. The analyses focused on the frequency of positive, negative, and non-significant effects for objective and subjective measures in each domain. *Results:* The analyses revealed significant discrepancies between performance outcomes and self-reports. Subjective measures, although fewer in number, tended to report more (particularly negative) effects than objective measures. This pattern was observed in the cognitive and driving domains; however, for driving, the self-reports aligned more closely with the performance results. *Conclusion:* These findings underscore the importance of adopting complementary measurement approaches in cannabis research. They highlight the need for future research to better understand the concordance between performance and metacognitive judgment to inform evidence-based guidelines and interventions.

Keywords: Cannabis; Tetrahydrocannabinol (THC); Executive function; Perception; Metacognition; Judgment

Introduction

How long should you wait before driving a motor vehicle after consuming cannabis (Driving After Cannabis Use, or DACU)? This question is particularly important for public safety in the context of the legalization of cannabis. Individuals who believe that cannabis is safe or does not impair driving are more likely to engage in DACU (Beaulieu-Thibodeau et al., 2023). Among frequent users, this perception may be influenced by comparative optimism, whereby many consider themselves less affected than others due to a belief of higher tolerance to cannabis (Wickens et al., 2022). Such low-risk appraisals have been associated with increased DACU (McCarthy et al., 2007). However, how reliable are these self-perceptions? These beliefs, on which some users base their decisions to drive or not, highlight the importance to better understand the actual effects of cannabis on driving ability, and how users assess of their own functional states in contrast.

Delta-9-Tetrahydrocannabinol (THC), the primary psychoactive component of cannabis, modulates neurotransmission in the mesocorticolimbic circuit and salience networks, which are associated with functional deficits in essential driving processes, such as psychomotor vigilance, sustained attention, motor inhibition, and working memory (WM). These effects manifest in both objective performance measures and subjective experience such as feelings of highness/euphoria, altered states of consciousness, and perception of time (McCartney et al., 2021; Ramaekers et al., 2021). As the intensity and duration of the effects are influenced by many aspects including dose, mode of administration, and individual variability, studies typically use placebo-controlled designs

to compare THC conditions (inhaled, orally ingested, or intravenous) with baseline measures. This methodological control helps to isolate the specific cognitive and behavioral effects of THC.

Objective effects of cannabis typically evaluate cognitive performance using neuropsychological tests, which aim to index components of executive functioning (Toplak et al., 2013), or using driving simulators in laboratory settings or on-road. Subjective assessment, often collected through *Visual Analog Scales* (VAS), can be conceptualized as an index of metacognitive monitoring experience; that is, an individual's evaluation and judgment about performance during tasks (Nelson, 1990). These two types of measures, while frequently collected, are rarely analyzed in conjuction, which complicates the assessment of whether users' perceptions reflect their performance.

Some studies have explored associations between cognitive performance and subjective experience. For example, visuomotor tracking has been associated with feelings of confusion (Battistella et al., 2013). Adam et al. (2020) explored metacognitive judgment by asking participants to provide confidence ratings for each response in the *Discrete Whole Report Task*. Results showed that THC not only impaired working memory performance, but also altered participants' metacognitive accuracy, suggesting that cannabis may impact cognitive ability and task monitoring. In the driving domain, Hartley et al. (2023) demonstrated a significant decrease in confidence related to driving ability (indexed with the Standard Deviation of Lateral Position, or SDLP) and reaction

times. These finding suggest that some degree of alignment exists in certain contexts. However, in a larger number of studies, the two types of measures are collected without statistical comparison. For instance, studies reported reduction in alertness and *Divided Attention Task* (DAT) performance without analyzing their association (Schlienz et al., 2020; Vandrey et al., 2017). Arkell et al. (2019) found that THC impaired performance on cognitive tasks such as the DAT, *Paced Auditory Serial Addition Task* (PASAT), and *Digit Span Symbol Task* (DSST), reduced vehicule control in the Lateral Position During Driving task, and decreased confidence to drive measures, but did not examine correlations between them. Although several studies have collected performance and perception indicators, only a few have directly examined whether these measures converge. A systematic review was conducted to examine the alignment of objective and subjective driving impairments (Love et al., 2023). The findings suggest a tendency among cannabis users to overestimate their impairment compared with objective measures, but this suggestion was not based on statistical analysis, and highlights the limited use of correlational analyses in these studies.

The lack of studies specifically examining the relationship between subjective and objective cognitive and driving measures limits our understanding of how cannabis users' self-perceptions align with their actual performance. It is important to know whether people are accurately aware of their abilities, given that consumers' decisions to engage in DACU are primarily influenced by their subjective perceptions.

Objectives

This study explored objective-subjective relationships by systematically reviewing THC research studies that contain these two types of assessments for both cognitive and driving skills. Understanding the relationship between performance and perception in these two domains can help to develop educational programs to enhance road safety.

Method

Search *strategy*

A systematic search was conducted on May 2, 2024, using the following electronic bibliographic databases: MEDLINE, PubMed, and PsycINFO. The search terms used were: (cannabis* OR THC OR tetrahydrocannabinol* OR "Delta-9-tetrahydrocannabinol*" OR marijuana) AND (subjecti* OR percept* OR metacog* OR feel* OR experience*) AND (placebo OR "repeated measures" OR cross-over OR crossover) AND (cogniti* OR neurocog* OR "executive function" OR inhibition* OR "working memory" OR psychomotor OR impuls* OR flexib* OR driv*)[1].

[1] In line with PRISMA recommendations, we prioritized structured bibliographic databases (PubMed, PsycINFO, MEDLINE) because they ensure reproducibility and allow advanced filtering by study design. Google Scholar, while broad, produces an unmanageable number of results (≈19,800 for our search strategy) that cannot be systematically screened or exported into Rayyan. To address this concern, we conducted a targeted search of the first 100 results on Google Scholar, which did not identify additional eligible studies beyond those already captured through our database searches, hand-searching, and reference lists.

Inclusion and exclusion criteria

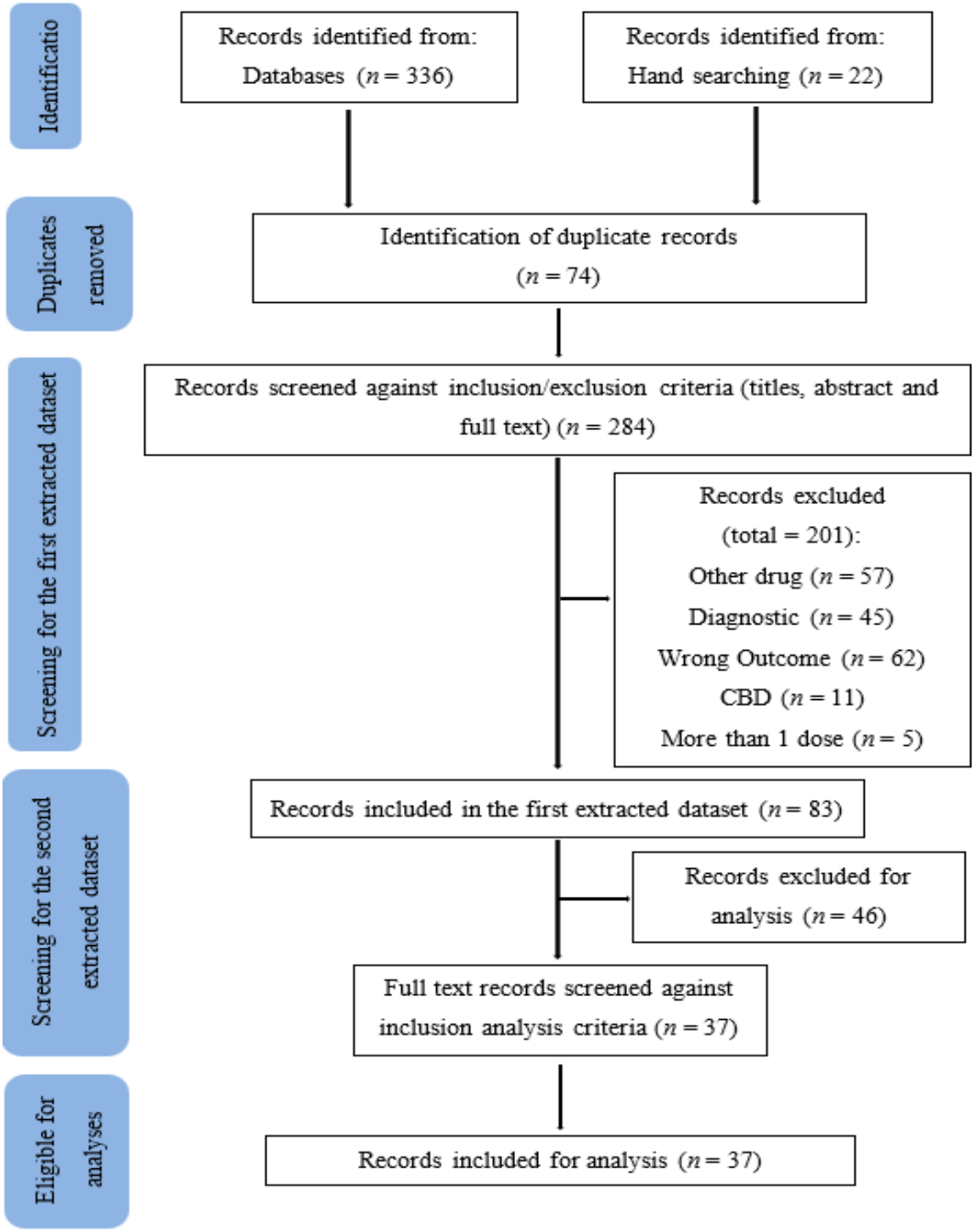
A study was included if it involved one-dose administration of THC alone in a placebo-controlled (within- or between-subject) or control condition where there was no drug administered (pre-drug or baseline measure). Each study included at least one objective measure and one subjective measure after ≤12 hours (acute THC effects). Only studies involving healthy participants with a sample size of at least 10 were included. These types of publications were excluded: book extracts/chapters, conference proceedings or abstracts, editorials, errata, letters, theses, reviews of any nature (e.g., narrative, scoping), meta-analyses, or published before the year 2000.

Study selection and* screening *process

The reference software EndNote 20 was initially used to remove duplicates from the reference list. The reference list was then transferred to the Rayyan Web platform to enable researchers to collaborate in title, abstract, and full-text screening. One investigator (SL) performed the duplicate checks and manually searched the reference lists of two reviews (Bourque & Potvin, 2021; Oomen et al., 2018), two recent systematic reviews (Broyd et al., 2016), and two meta-analyses (Dellazizzo et al., 2022; McCartney et al., 2021) to ensure that all the relevant articles were captured. The same investigator (SL) and a postgraduate assistant reviewed the titles, abstracts, and full texts independently and collaboratively. Conflicts were resolved by consensus upon further discussion between the reviewers, or by a third independent reviewer (SS). Figure 1 shows the details of the selection of the study using the PRISMA flow diagram (Page et al., 2021).

Figure 1

PRISMA flow diagram



Data extraction and analyses

The first author created two extracted datasets. The first extracted dataset was for all eligible studies according to the inclusion/exclusion criteria, and the second was for the analyses of the cognitive and driving domains[1]. Objective performance data were categorized into cognitive (cognitive-objective) and driving (driving-objective) measures. Subjective experiences were classified to identify the variables relevant to cognition (subjective-cognition) and driving (subjective-driving).

To assess acute THC effects, the analyses included each type of measurement (objective or subjective), as well as the types of results (positive, negative, and no effect). Statistical significance was set at $p < .05$. For each category, a chi-square test was used to examine the relationship between the type of measurement and the three types of results. A second chi-square test examined the relationship between the two types of measures and two types of results (positive and negative effect combined, and no effect), accompanied by an odds-ratio assessment. Where appropriate, additional odds-ratio assessments were made between positive and negative effects.

Results

Descriptive data

This systematic review included 83 studies that met the first extracted dataset selection criteria (see Figure 1). In terms of cognitive performance, 71 articles included 84 distinct

[1] See Table 3.

cognitive tasks and 477 results. Table 1 displays the most frequently used cognitive tasks along with the number of studies. The driving performance consisted of 15 articles, including 85 outcomes. The Standard Deviation of Lateral Position (SDLP) was the most popular assessment in of 12/15 studies.

Table 1

Summary of the most commonly used cognitive tasks

Cognitive Task	Number of studies
Divided attention task (Primary task)	21
Divided attention task (Secondary target identification)	18
Digit-symbol substitution task	17
Spatial n-back and working memory	10
Critical tracking task	9
Paced serial addition task	9
Stop signal task	9
Continuous performance task	7
Tower of London	6
Digit span	5
N-back	5
Simple reaction time	5

A wide range of subjective results was obtained. Therefore, they were grouped into five categories (mental state, drug effects and intoxication, physical sensation, cognition, and driving). Table 2 presents the number of results obtained for each category and the number of significant results. Items concerning mental state and drug effects were the most frequent, followed by cognition and the subjectivity of driving abilities. These two categories are discussed in detail in the analysis section.

Table 2

Number of results and significant effects grouped by subjective category

Type of subjective outcome	Number of results	Number of significant effects
Mental state	375	207
Drug effects and intoxication	208	164
Physical sensation	71	54
Cognition	41	32
Driving	22	20

Mental state included outcomes such as alertness and energy levels, emotion, mood, and psychotic symptoms. Among the more frequent measures, 35 studies examined anxiety; THC increased it in 21 cases, while showing improvement in 2. Increased sedation was reported in 28 of the 36 studies, and positive psychotic symptoms were observed in of 10/10 studies. Among the 15 studies, motivation showed a positive effect in two studies and a negative effect in four. Concerning the category of drug effects, the most measured outcome is the feeling of "High" with 42 out of 48 studies reporting positive results, followed by the "good drug" effect in 30 of 35 studies. Finally, dry mouth was an effect of THC reported in 8/9 studies and hunger in 10/14 studies for physical sensations.

Analyses

The analyses focused specifically on the objective and subjective measures of cognition and driving. 37 articles were retained from the second extracted dataset, whereas 46 articles were excluded because of a lack of subjective data. Of the eligible articles, 29

were retained for cognitive-objective variables, 11 for driving-objective, 24 for cognitive-subjective, and 13 for driving-subjective. Table 3 presents the details of the articles included in the analysis.

Table 4 reports the number of positive, negative, and null findings across the objective and subjective measure types in the cognitive and driving domains. The majority of objective cognitive measures showed either no effect or a negative effect, while subjective measures predominantly indicated negative effects for both cognitive and driving domains.

Table 3

Key characteristics of studies eligible for analysis

Authors	Age (SD)	THC Dose (Administration mode)	Outcome type	Task name (cognitive domain by author)	Outcome	Result
(Adam et al., 2020)						
Exp 1: (n = 23)	22.70 (0.72)	15 mg (capsule)	Subj-Cog		Being on task	–
					Mind windering	–
					Zoning out	–
Exp 2: (n = 23)	23.5 (0.90)	7.5 and 15 mg (capsule)	Obj-Cog	DWR (VWM)	Metacognitive accuracy	–
					Exp 1: mean # correct	–
					Exp 2: mean # correct	–
Arkell et al., 2019)	27.5 (4.5)	11% (Vaporized)	Subj-Driv		Confident to drive	–
(n = 14)					Adelaide driving self-efficacy	–
			Obj-Cog	DSST	# correct trials	–
					Accuracy (%)	NS
				DAT (PT)	Tracking error	–
				DAT (STI)	# target correctly identified	NS
					RT	NS
				PASAT (PS)	RT during correct trials	–

Table 3

Key characteristics of studies eligible for analysis (continued)

Authors	Age (SD)	THC Dose (Administration mode)	Outcome type	Task name (cognitive domain by author)	Outcome	Result
			Obj-Driv		SDLP	–
					Mean headway (distance to the lead vehicule)	NS
					SD of headway	NS
					SDLP	NS
					Mean speed	NS
					SD of speed	NS
(Arkell et al., 2020)	23.2 (2.6)	22% (Vaporized)	Subj-Driv		Confident to drive	–
(*n* = 26)					Perceived driving quality	–
					Perceived driving impairment	–
			Obj-Cog	DSST (PF/PS)	# attempted	–
					# correct trials	–
					% correct	–
				DAT (PT)	Tracking error	NS
				DAT (STI)	RT	–
				PSAT (WM/PS)	RT	–
					# correct	–
					% correct	–
				TOL (DM/CF)	RT (planning time)	+

Table 3

Key characteristics of studies eligible for analysis (continued)

Authors	Age (SD)	THC Dose (Administration mode)	Outcome type	Task name (cognitive domain by author)	Outcome	Result
			Obj-Driv		SDLP	–
					Mean speed	NS
					SD of speed	NS
(Arkell et al., 2022)	24	22% (Vaporized)	Subj-Driv		Confident to drive	–
(*n* = 40)			Obj-Driv	DSST	# attempted	NS
					% correct	–
				DAT (PT)	Tracking error	–
				DAT (STI)	RT	–
				PSAT	RT	–
					# correct	–
Ballard & de Wit, 2011)	25.3 (3.1)	2.5 mg (Capsule)	Subj-Cog		Confusion	NS
			Obj-Cog	DSST (PF)		–
(*n* = 11)				DS (WM)	Backward	NS
				SRT	RT	NS
(Battistella et al., 2013)	24.1 (3.0)	11% (Smoked)	Subj-Cog		Confusion	–
(*n* = 31)					Time perception	–
					Attention	–
					Anticipation	NS
			Subj-Driv		Ability to drive	NS
			Obj-Cog	CTT (PF)	Lambda-C	–

Table 3

Key characteristics of studies eligible for analysis (continued)

Authors	Age (SD)	THC Dose (Administration mode)	Outcome type	Task name (cognitive domain by author)	Outcome	Result
				PTT (VM)	Time of correct tracking	–
					Mean gap between target and cursor	–
(Bedi et al., 2013)	27.9 (5.1)	10, 20 mg (Capsule)	Subj-Cog		Confusion	NS
			Obj-Cog	DS (WM)		NS
(*n* = 14)				Recog (WM)		NS
				DAT (PT)	Total tracking distance	–
				DAT (STI)	# false alarms	NS
					# hits	NS
					Hit latency	NS
					Maximum tracking speed	NS
				DSST (PS)	# attempted	NS
					# items correct	NS
					% correct	NS
				RAT (VL)	# trials completed	NS
					# errors	+
(Brands et al., 2019)	PLA: 21.9 (2.2), Low	12.5% (Smoked)	Obj-Driv		Mean speed (single task)	–
(*n* = 91)	THC: 22.2 (1.8), High				Mean speed (dual task)	–

Table 3

Key characteristics of studies eligible for analysis (continued)

Authors	Age (SD)	THC Dose (Administration mode)	Outcome type	Task name (cognitive domain by author)	Outcome	Result
	THC: 22.3 (2.0)				Lateral control (single task)	NS
					Lateral control (dual task)	NS
			Subj-Driv		How willing they would be to drive a real vehicle	–
(Brooks-Russell et al., 2021)		15 to 30% (Smoked)	Subj-Driv		Confident to drive	–
			Obj-Driv		SDLP	–
(*n* = 85)					Speed relative to speed limit	–
(Curran et al., 2002)	24	7.5 and 15 mg (Capsule)	Subj-Cog		Memory	–
(*n* = 15)					Concentration	+
			Obj-Cog	BSRT (FR/VL)	First three acquisition trials	–
					DR	–
					Forgetting	NS
				RVIP (SA/WM)	Correct detections	NS
				BRT (EF)	RT	–
				SSST (WM)		NS
				CRT (Attention/PS)	Errors	–

Table 3

Key characteristics of studies eligible for analysis (continued)

Authors	Age (SD)	THC Dose (Administration mode)	Outcome type	Task name (cognitive domain by author)	Outcome	Result
				SDCT (FA)	Time to complete task	NS
					Errors	–
				DDCT (FA)	Time to complete task	NS
					Errors (double target)	–
				SRT	RT	–
				PRT	IR	–
					DR	+
				PP (IM)		NS
				VF		–
				GSM (PM)	Time to complete	–
					Errors	–
(Desrosiers et al., 2015)		6.8% (Smoked)	Subj-Cog		Concentration	–
					Time perception	–
(*n* = 14)			Obj-Cog	CTT (PF)	Lambda-C	–
				DAT (STI)	False alarms	–
					RT	–
					Hits	–
				DAT (PT)	Control losses	NS
					Tracking error	NS
				SN-Back (WM manipulating)	1-back accuracy	NS

Table 3

Key characteristics of studies eligible for analysis (continued)

Authors	Age (SD)	THC Dose (Administration mode)	Outcome type	Task name (cognitive domain by author)	Outcome	Result
					2-back accuracy	–
					3-back accuracy	NS
					1-back: RT	–
					2-back: RT	–
					3-back: RT	NS
					1-back errors commission	NS
					2-back errors commission	NS
					3-back errors commission	NS
				BART (Risk-task/impulsivity)	# adjusted pump	–
(Englund et al., 2023)	26.62 (4.94)	10 mg (Vaporized)	Subj-Cog		Mentally impaired	NS
(*n* = 26)			Obj-Cog	HVLT	IR	–
					DR	–
					Retention	NS
					Immediate repetitions	NS
					Delayed repetitions	NS
					Immediate intrusions	–
					Delayed intrusions	–
				DS (VWM/attention)	Forward	–

Table 3

Key characteristics of studies eligible for analysis (continued)

Authors	Age (SD)	THC Dose (Administration mode)	Outcome type	Task name (cognitive domain by author)	Outcome	Result
					Backward	NS
				SN-Back	0-back	NS
					1-back	NS
					2-back	NS
(Fares et al., 2022)	22.54 (0.48)	12.5% (Smoked)	Subj-Driv		Perceived driving ability	–
(*n* = 28)			Obj-Driv	STDSO	SDLP	–
					Mean speed	NS
					SD of speed	NS
					Maximum speed	NS
				STDSS	SDLP	–
					Mean speed	NS
					SD of speed	NS
					Maximum speed	NS
				DTSO	SDLP	–
					Mean speed	NS
					SD of speed	NS
					Maximum speed	NS
					Brake RT	NS
				DTSS	SDLP	–
					Mean speed	NS
					SD of speed	NS
					Maximum speed	NS

Table 3

Key characteristics of studies eligible for analysis (continued)

Authors	Age (SD)	THC Dose (Administration mode)	Outcome type	Task name (cognitive domain by author)	Outcome	Result
					Brake RT	NS
(Hart et al., 2001)		0, 1.8 and 3.9% (Smoked)	Subj-Cog		Concentration	+
					Confusion	–
(*n* = 18)					Forgetful	–
			Obj-Cog	RT	Premature responses	–
				AT (Attention)		NS
				WT (Attention)		NS
				RTT (Memory)	Time completion	–
				IVMT (Memory)	Accuracy	NS
				TTT (VP)	Time completion	–
					Accuracy	NS
				CT (VP)	Time completion	–
					Accuracy	NS
				Analogy (Reasoning)	Accuracy	NS
				OMT (CF)	Accuracy	NS
				MC (AO)	Time completion	–
					Accuracy	NS
				DRT (IR/DR)	Digit correctly entered	–
				DSST		NS
				DAT (PT/vigilance)	Tracking	–
				RAT		NS

Table 3

Key characteristics of studies eligible for analysis (continued)

Authors	Age (SD)	THC Dose (Administration mode)	Outcome type	Task name (cognitive domain by author)	Outcome	Result
(Hunault et al., 2009)	24.1 (4.0)	9.8, 16.4 and 23.1% (Smoked)	Subj-Cog		Capability to perform a task	NS
(*n* = 23)			Obj-Cog	SRT	RT	–
				Flanker (VSSA)	RT	–
					# errors	NS
				SM	RT	–
					# errors	–
				UT (PR/MC)	Deviation from center	–
				DAT (STI)	RT	–
				DAT (PT)	Deviation from center	–
				SA	RT	–
					# errors	–
(Hunault et al., 2014)	24.6		Subj-Cog		Memory	–
					Concentration	–
					Confusion	–
(Kollins et al., 2015)		10 mg (Capsule)	Subj-Cog		Concentration	NS
				CPT (Vigilance)	Misses	NS
(*n* = 16)				CPT (IC)	False alarms	–
				CPT (PF)	RT	NS
				CPT (AL)	RT variability	NS
				N-Back (WM)	0-back accuracy	NS
					1-back % correct	NS

Table 3

Key characteristics of studies eligible for analysis (continued)

Authors	Age (SD)	THC Dose (Administration mode)	Outcome type	Task name (cognitive domain by author)	Outcome	Result
					2-back % correct	NS
					3-back % correct	NS
					0-back: RT	NS
					1-back: RT	NS
					2-back: RT	NS
					3-back: RT	–
(Lile et al., 2014)	22	5, 15 and 30 mg (Capsule)	Subj-vog		Forgetful	–
					Concentration	–
(*n* = 10)			Obj-Cog	RAT	# chains completed	–
					# responses emitted	–
				DSST (PF)		NS
				TR		NS
(Marcotte et al., 2022)	29.9 98.3)	5.9 and 13.4% (Smoked)	Subj-Driv		Impaired to drive	–
(*n* = 191)					Would you drive in your current state	–
					How much did the study drug affect your driving	–
					How well did you drive	–
			Obj-Driv	Car following	Coherence	–
					Delay in response	–

Table 3

Key characteristics of studies eligible for analysis (continued)

Authors	Age (SD)	THC Dose (Administration mode)	Outcome type	Task name (cognitive domain by author)	Outcome	Result
					Distance from lead car	–
					SDLP	–
					Time out of lane	–
					SD of speed	–
			Obj-Cog	DAT (STI)	# correct	NS
				DAT (PT)	Distance from target	–
(Matheson et al., 2020) (n = 91)		12.5% (Smoked)	Sbj-Cog		Confusion	–
			Obj-Cog	HVLT (VM)	IR	NS
					DR	NS
					Total recall	NS
					Learning score	NS
					% retained	–
					True positives	NS
					False positives	NS
					Discrimination index	NS
				CPT (SA/selective attention)	% hits	NS
					% omissions	NS
					% commissions	NS
					Hit rate	NS
					Hit rate variability	NS
					Detectability	NS
				DSST	Completed trials	NS

Table 3

Key characteristics of studies eligible for analysis (continued)

Authors	Age (SD)	THC Dose (Administration mode)	Outcome type	Task name (cognitive domain by author)	Outcome	Result
					Correct trials	–
					RT	NS
				GP (FMC/MD)	Dominant hand	NS
					Non-dominant hand	NS
(McDonald et al., 2003)	23.0 (4.48)	7.5 or 15 mg (Capsule)	Subj-Cog		Confusion	–
			Obj-Cog	DSST (PF)		NS
(*n* = 37)				HVLT (VR)		NS
				DS (Memory)	Forward	NS
					Backward	–
				SST (Impulsivity)	Stop RT	–
				SST (IPMR)	Mean go RT	NS
				Go/No-Go (Impulsivity)	Errors commission	NS
				Go/No-Go (IIR)	Errors Ommission	NS
					RT on correct responses	NS
				TR (Impulsivity)		–
				DD (Impulsivity)	Delay	NS
					Probability discounting	NS
(Micallef et al., 2018)		8% (Smoked)	Obj-Driv		Inappropriate line crossings	NS
(*n* = 15)					SDLP	–

Table 3

Key characteristics of studies eligible for analysis (continued)

Authors	Age (SD)	THC Dose (Administration mode)	Outcome type	Task name (cognitive domain by author)	Outcome	Result
			Subj-Driv		Confident to drive	–
(Mokrysz et al., 2016)	25.49 (1.07)	12% (Vaporized)	Subj-Cog		Mentally impaired	–
			Obj-Cog	PRT (EM)	Immediately	–
					Delayed	–
				SN-Back (Spatial WM)	Discriminability (D')	–
					RT for correct trials	–
				SST (Inhibition)	Stop-signal RT	NS
					Accuracy on no-signal	NS
(Murray et al., 2022)	31.0 (1.70)	7.5 and 15 mg (Capsule)	Subj-Cog		Confusion	–
			Obj-Cog	SRT (Attention)	RT	NS
(*n* = 12)				SST (IPMR)	Accuracy	NS
					Stop RT	NS
				RT	Reproduced time	NS
				N-Back (EA/WM)	N-back:d	NS
(Ogourtsova et al., 2018)	20.6	12.9% (Vaporized)	Subj-Driv		Confident to drive	NS
(*n* = 45)					Confident to drive safety	–
			Obj-Cog	UFVO-1	Simple PS	NS
				UFVO-2	DAT	–

Table 3

Key characteristics of studies eligible for analysis (continued)

Authors	Age (SD)	THC Dose (Administration mode)	Outcome type	Task name (cognitive domain by author)	Outcome	Result
				UFVO-3 (distractibility)	Selective-attention	–
			Obj-Driv		Breaking RT	NS
					Steering RT	NS
					Lane-keeping speed control	NS
					Intersection crossing	NS
					Vigilance challenge accuracy	NS
					Obstacle avoidance accuracy	NS
					Obstacle avoidance crash rate	NS
(Pabon & de Wit, 2019)		7.5 and 15 mg (Capsule)	Subj-Cog		Confusion	–
			Obj-Cog	TCA (Proc speed)	Exp 1: accuracy	–
Study 1: (n = 24)	23.04 (0.90)				Exp 2: accuracy	–
				SRT	Exp 1: RT	–
Study 2: (n = 24)	23.7 (0.80)				Exp 2: RT	–
				FTT (PF/coordination)	Exp 1	NS
					Exp 2	NS
				MS (WM)	Exp 1	–
					Exp 2	–

Table 3

Key characteristics of studies eligible for analysis (continued)

Authors	Age (SD)	THC Dose (Administration mode)	Outcome type	Task name (cognitive domain by author)	Outcome	Result
				TR (TP)	Exp 2	NS
				TE (TP)	Exp 2	NS
(Ramaekers et al., 2000)		100 or 200 µg/kg (Smoked)	Subj-Driv		Driving quality	–
			Obj-Driv		SDLP	–
(*n* = 18)					Time out of lane	NS
(Ramaekers et al., 2016)	22.8 (3.69)	300 µg/kg (Vaporized)	Obj-Cog	DAT (PT)	Tracking error	–
				DAT (STI)	% correct	–
(*n* = 122)				CTT (PF)	Lambda-C	–
				SST (MI)	Commission errors	–
				TOL (DM/EF/plan)	Correct decisions	–
(Ronen et al., 2010) (*n* = 12)	26.1	13 mg (Smoked)	Subj-Driv	Willingness to drive: When the reason is…	unimportant though gratifying	–
					Important but there is another option	–
					Urgent like driving a sick baby to a hospital	–
			Obj-Driv		Steering wheel variability (rms)	NS
					Lane position variability (rms)	NS
					Mean speed	+

Table 3

Key characteristics of studies eligible for analysis (continued)

Authors	Age (SD)	THC Dose (Administration mode)	Outcome type	Task name (cognitive domain by author)	Outcome	Result
					# collisions	NS
					Speed variability (rms)	NS
			Obj-Driv	DAT (STI)	Average RT	NS
					False recognition	NS
				DAT (PMA)	# completed	NS
					% success	–
					# no response	NS
(Schnakenberg Martin et al., 2023)	30.2 (6.90)	10 mg (Capsule)	Subj-Driv		Perceived ability to drive	–
(*n* = 18)			Obj-Driv		SDLP	NS
					Average speed	NS
					# speed exceedance	NS
(Spindle et al., 2018)	27.3 (5.70)	0, 10, 25 mg (Smoked and Vaporized)	Subj-Cog		Difficulty performing routine tasks	–
(*n* = 17)					Memory	–
			Obj-Cog	DSST	# attempted	–
					# correct	–
					% correct	–
				DAT (PT)	Mean distance from stimulus	–

Table 3

Key characteristics of studies eligible for analysis (continued)

Authors	Age (SD)	THC Dose (Administration mode)	Outcome type	Task name (cognitive domain by author)	Outcome	Result
				DAT (STI)	Response time for recognition of peripheral stimuli	–
					# correct	NS
				PSAT	# correct	–
					RT correct	–
(Spindle et al., 2021) (n = 36)		0, 10, and 25 mg (Brownies) and 0, 5, and 20 mg (Vaporized)	Subj-Cog		Difficulty performing routine tasks	–
					Memory	–
			Obj-Cog	DSST (PF)	# attempted	NS
					# correct	NS
				DAT (PT)	Mean distance from central target	–
				DAT (STI)	# correct peripherical	NS
				PSAT (WM/EF)	# correct	–
				DRUID	Global impairment	–
(Sugarman et al., 2011) (n = 12)		15 mg (Capsule)	Subj-Cog		Confusion	NS
			Obj-Cog	HVLT (VL/memory)	Total recall	NS
					DR	NS
					Recognition discrimination index	NS
				RVIP (SA/WM)	Mean latency	NS
					Target sensitivity	NS

Table 3

Key characteristics of studies eligible for analysis (continued)

Authors	Age (SD)	THC Dose (Administration mode)	Outcome type	Task name (cognitive domain by author)	Outcome	Result
					Response bias (false responding)	NS
(van Wel et al., 2015)			Subj-Cog		Confusion	–
(Weinstein et al., 2008)	27.0 (7.45)	13 and 17 mg (Smoked)	Subj-Cog		Concentration	NS
					Memory	NS
(*n* = 14)			Obj-Cog	WCST (Attention/MF)	# blocks without error	–
					# errors	–
					# trials to complete the first category without errors	NS
				WCST (Flexibility)	Errors perseverance	NS
				WCST (Attention)	Non-perseverance errors	–
				TE (Cognition)	Estimate of time of arrival of a car	NS
				ES	Estimate of distance from a car	NS
				VMT (PF)	RT for completion	NS
					# collisions per trial	–
				GT (Risk-Tak)	Speed of dec-mak	NS
					Quality of dec-mak	–

Table 3

Key characteristics of studies eligible for analysis (continued)

Authors	Age (SD)	THC Dose (Administration mode)	Outcome type	Task name (cognitive domain by author)	Outcome	Result
(Wickens et al., 2022)	22.54 (0.48)	12.5% (Smoked)	Subj-Cog		Confusion	–
			Obj-Cog	HVLT (IR)	IR	–
(*n* = 22)					Immediate total recall	NS
				HVLT (DR)	DR	NS
					% retained	NS
				DSST (MOCP)	# attempted	NS
					# correct	NS
					Mean RT	NS
				GP (PF:PD/FMC)	Dominant hands	NS
				Time required to completed using the:	Non-dominant hands	NS
				CPT (SA/Selective attention)	Hits	NS
					False alarms	NS
					Misses	NS
					Hit RT	NS
					Variability of standard error	NS
					Detectability	NS

Table 3

Key characteristics of studies eligible for analysis (continued)

Authors	Age (SD)	THC Dose (Administration mode)	Outcome type	Task name (cognitive domain by author)	Outcome	Result
(Zamarripa et al., 2023)	30.0 (7.00)	20 mg (Brownies)	Subj-Cog		Difficulty performing routine tasks	–
(*n* = 22)					Memory	–
			Obj-Cog	DSST (PF)	# correct	NS
				PSAT (WM)	# correct	NS
				DAT (PT)	Mean distance of their cursor from the central stimulus	–

Note. AL = Attentional Lapses; AO = Arithmetic Operations; AT = Alphabet Task; BART = Balloon Analogue Risk Task; BRT = Baddeley Reasoning Task; BSRT = Bushke Selective Reminding Task; CPT = Continuous Performance Task; CRT = Choice Reaction Time; CF = Cognitive Flexibility; CT = Clock Task; CTT = Critical Tracking Task; DAT = Divided Attention Task; DD = Delay Discounting; DDCT = Double Digit Cancellation Task; DM = Decision Making; DR = Delayed Recall; DRT = Digit Recall Task; DRUID = Driving Under the Influence of Drugs; DS = Digit Span; DSST = Digit Symbol Substitution Test; DTSO = Dual Task Simulation Overall; DTSS = Dual Task Simulation Straightaway; DWR = Discrete Whole Report; EA = Executive Attention; EF = Executive Function; EM = Episodic Memory; ES = Estimation of Space; FA = Focus Attention; FMC = Fine Motor Coordination; FTT = Finger Tapping Test; GT = Gambling Task; GP = Grooved Pegboard; GSM = Gibson's Spiral Maze; HVLT = Hopkins Verbal Learning Test; IC = Inhibitory Control; IIR = inhibit Inappropriate Response; IM = Implicit Memory; IPMR = Inhibit a prepotent motoric response; IR = Immediate Recall; IVMT = Immediate and Verbal Memory Task; MC = Mental Calculation; MD = Manipulative Dexterity; MF = Mental Flexibility; MI = Motor Impulsivity; MOCP = Measured overall cognitive performance; MS = Memory Span; OMT = Object-Match Task; PASAT = Paced Auditory Serial Addition Task; PF = Psychomotor Function; PD = Physical Dexterity; PM = Perceptual motor; PMA = Primary Mental Arythmatic; PP = Perceptual Priming; PRT = Prose Recall Task; Proc Speed = Processing Speed; PS = Psychomotor Speed; PSAT = Paced Serial Addition Test; PT = Primary Tracking; PTT = Pursuit Tracking Test; RAT = Repeated Acquisition Task; RTT = Reading Time Task; Recog = Recognition Task; Risk-Tak = Risk-Taking; RT = Reaction Time; RVIP = Rapid Visual Information Processing; SA = Sustained Attention; SDCT = Single Digit Cancellation Task; SSST = Serial Sevens Subtraction Task; SM = Sternberg Memory; SN-Back = Spatial N-Back; SRT = Simple Reaction Time; SST = Stop-Signal Task; STDSO = Single Task Driving Simulation Overall; STDSS = Single Task Driving Simulation Straightaway; STI = Secondary Target Identification; TCA = Two Column Addition; TE = Time Estimation; TOL = Tower of London; TP = Time Perception; TR = Time Reproduction; TTT = Tic-Tac Task; UFVO = Useful Field of View; UT = Unstable Tracking; VF = Verbal Fluency Task; VL = Verbal Learning; VR = Verbal Recall; VWM = Verbal Working Memory; VMT = Virtual Maze Task; VSSA = Visuo-Spatial Selective Attention; VM = Visuo-Motor; WCST = Wisconsin Card Sorting Test; WM = Working Memory; WT = Wordlists Task.

Table 4

Result frequencies for each type of statistical test outcome, for measures of cognitive and driving performance by type of measure (objective or subjective)

	Positive effect	Negative effect	No effect
Cognitive-objective	3	107	146
Cognitive-subjective	2	30	9
Driving-objective	1	18	38
Driving-subjective	0	20	2

Chi-square analyses revealed significant relationships between both types of measures (objective or subjective) and all three types of results (positive effect, negative effect, and no effect) for cognition $\chi^2(2, N = 297) = 18.758$, $p < .001$ and driving $\chi^2(2, N = 79) = 22.395$, $p < .001$. These results indicate a significant association between the type of measure and the type of outcome observed.

Chi-square results, when combining positive and negative effects compared to non-significant outcomes, were also significant for both domains: $\chi^2(1, N = 297) = 17.429$, $p < .001$ (cognition) and $\chi^2(1, N = 79) = 21.051$, $p < .001$ (driving). Objective measures were significantly less likely to report an effect than subjective measures. The odds ratio analysis indicated that, for cognition, there was a 4.7% chance of observing a subjective effect compared to an objective effect ($OR = 0.212$, 95% CI [0.097; 0.462]), and a 20% chance for driving ($OR = 0.050$, 95% CI [0.011; 0.237]). The odds ratio between the positive and negative effects on cognition was not significant ($OR = 0.421$,

95% *CI* [0.068;2.63]). Analysis of subjective effects was not possible for the driving category because of lack of data.

Discussion

The main objective of this systematic review was to examine how acute cannabis (THC) use influences objective and subjective measures, and explore their concordance in cognition and driving. These findings revealed convergences. Although fewer in number, self-judgment tends to report more (particularly negative) effects than performance measures. This pattern was observed across both cognitive and driving domains; however, for driving, subjective perceptions were more closely aligned with the objective outcomes. However, these findings raise fundamental questions regarding the nature of the constructs evaluated and the methodology employed in cannabis research.

The studies included in this review reported various subjective outcomes. Self-reports differ in cognitive content, and several categories can be created to organize this diversity. First, many studies rely on non-specific self-reports related to general mental or drug-induced states, such as perceived alertness, sedation, anxiety, mood, or the feeling of being "high". These variables were the most frequently reported across studies (see Table 2) and provided useful information about the internal state of the participants, but they were not directly linked to specific cognitive functions.

THC affects several central nervous system structures that support EFs relevant to driving, including the dorsolateral prefrontal cortex, anterior cingulate cortex, hippocampus, cerebellum and fronto-striatal circuits. These regions are involved in sustained attention, working memory, error monitoring, and psychomotor control, and are know to be modulated by THC through CB1 receptor-rich pathways (McCartney et al., 2021; Ramaekers et al., 2021). Disruptions in these networks correspond to the objective impairments observed in tasks assessing vigilance, inhibition, working memory and driving stability. Subjective effects such as highness, altered time perception or reduced perceived driving ability may reflect THC-related changes in brain regions involved in perceiving internal states and evaluating one's own functioning, including the prefrontal regions, the insula, and the salience-network (Battistella et al., 2013; Ramaekers et al., 2021).

Second, a smaller subset of studies included non-specific cognitive self-ratings, such as perceived concentration or confusion. These judgments are typically collected during or shortly after a task and are intended to reflect cognitive status. However, they remain relatively non-specific with respect to distinct executive functions and are not consistently linked to the objective measures used.

Third, some studies have incorporated performance-specific metacognitive judgments such as trial-by-trial confidence ratings or global confidence in task execution.

For example, Adam et al. (2020) collected confidence judgments for each trial during a working memory task.

Finally, studies have begun to explore indirect behavioral indicators of self-monitoring, such as post-error slowing or error-related adjustements in performance. Kowal et al. (2015), for instance, examined error-monitoring processes in cannabis users, which may reflect implicit metacognitive regulation, even if such measures are rarely labeled as metacognitive in this research area.

Analyses were carried out on all objective and subjective data, irrespective of the simultaneous presence of both types of data (objective/subjective) and/or domain (cognition/driving) in the same study. However, comparative analyses between objective and subjective data from studies that had both could not be performed for several reasons. First, not all studies have presented both types of data for the same domain. Second, direct comparison was problematic, as performance-task measures often included several variables (e.g., multiple outcomes for the *N-Back*) against a single perception outcome. Third, for the subjective-cognitive domain, the limited number of self-reports (concentration, memory, attention, confusion) and lack of a theoretical basis to justify their association with specific performance measures made such comparisons arbitrary. Finally, although the comparison between driving performance and subjective confidence judgment in driving may seem more logical, the multiplicity of performance outcomes (and varied outcomes within studies) poses the same methodological problem. This type

of analysis, were it possible, would have allowed us to control for confounding variables specific to each study, and to ensure that the differences observed were due to the type of measurement and not to differences between studies (methods, participants, conditions). This highlights the need for a better standardization of measurements in future studies.

The large disparity in the number of outcomes between cognitive and driving performance may reflect broader differences in how these domains are typically assessed in research. Cognitive performance employed a wide range of tasks covering diverse functions (e.g., working memory, inhibition, attention) while driving assessments predominantly relied on a few standard indices such as SDLP. This discrepancy could introduce a measurement imbalance that complicates direct comparison with subjective reports.

One interpretation of the closer alignment observed in driving studies is that subjective ratings (e.g., perceived driving ability or confidence) often refer to the same behavioral domain as the objective tasks. In contrast, in cognitive domain, subjective ratings were often general and referred to impressions or feelings (e.g., “concentration”, “confusion”) and may not map clearly onto specific cognitive constructs or task components. This observation could reflect the abstract nature of cognitive constructs, particularly in the case of attention. While intuitively understood in everyday life as “being focused”, its scientific definition and measurement is multidimensional (e.g., selective, sustained, divided) and difficult to translate into a single self-report. This finding supports

existing research suggesting that tasks and self-reporting probably measure different phenomena (Duckworth & Kern, 2011; Toplak et al., 2013). This ambiguity might contribute to the difficulty in establishing consistent associations between perception and performance.

These observations also raise broader questions about the conceptualization of executive functions (EFs) in cannabis research. EF is an umbrella term with no universally accepted definition (Chan et al., 2008; Verbruggen et al., 2014), and studies indexed different EFs for the same task. For example, a continuous performance task can measure sustained and selective attention, vigilance, inhibitory control, attentional lapse, and psychomotor functions. In some cases, studies did not specify which EF was being measured. This lack of consensus may obscure potential links between performance and self-evaluation.

In addition, the review identified the presence of cognitive tasks associated with EF (e.g., WM, inhibition, and flexibility) but also points out that there are no subjective items on this topic. For example, although tasks like digit span are widely used to assess working memory, no corresponding subjective item was reported to capture participants' perceived working memory capacity during the task. This absence may partly explain why most cognitive-subjective associations remain descriptive rather than statistical.

Altogether, these factors may help explain why subjective-objective alignment was more consistently observed in the driving domain, where judgments such as driving confidence are contextually embedded and behaviorally concrete, compared to the more abstract and multifaceted nature of cognitive self-perception.

Limits

This systematic review has some limitations. First, results concerning the concordance between objective and subjective consumer performance remain limited. The included studies had few subjective measures, and the analyses were not performed on correlations obtained from studies but rather on the exploration of potential alignment with results obtained from differences between placebo/THC conditions through non-parametric tests. Second, the decision to include only studies evaluating both measures may have excluded valuable insights from studies that focus exclusively on one type of measure. Third, no quality assessment was carried out, given that most included studies had already been reported in other meta-analyses and reviews. Fourth, perception data are inherently susceptible to biases, such as social desirability, which may influence the reported findings. Finally, this review did not examine several key factors that could potentially influence the effects of THC, such as the specific dosages used, administration methods (e.g., inhalation vs. oral ingestion), and the characteristics of cannabis users themselves, including their age, frequency of use, and duration of cannabis consumption. These user-specific factors are important to consider as frequent cannabis consumers tend to develop tolerance over time, which could affect the perception and performance effects

observed (Ramaekers et al., 2020, 2021). Such variables may play a role in the heterogeneity of findings and should be addressed in future research. Additionally, although the timing of test administration relative to THC dosing is an important methodological factor, this information was reported too inconsistently across studies to permit systematic comparison in the present review.

Future studies

More research is needed to fully understand the complex relationship between the objective and subjective measures of cannabis effects. To address the discrepancies observed these approaches should be aligned by designing subjective ratings that reflect the constructs assessed using objective tools.

Future research should also explore the integration of metacognitive approaches. This perspective distinguishes between metacognitive knowledge, which refers to individuals' beliefs about the effects of cannabis on their cognitive functioning, and metacognitive experiences, which refer to real-time monitoring processes during task performance. Both dimensions offer complementary insights. Metacognitive knowledge can be useful for capturing general beliefs and expectations related to cannabis effects on cognition, for example through retrospective questionnaires targeting specific cognitive domains. Some studies have examined metacognitive experiences using first-order judgments, such as confidence rating about task performance or driving ability (e.g., (Adam et al., 2020; Hartley et al., 2023), providing an initial window for metacognitive monitoring. However,

such approaches remain limited, and often provide only a partial view of metacognitive monitoring. Future studies could expand on this by incorporating second-order judgments, in which participants evaluate the quality of their first-order judgments. These forms of metacognitive evaluation could help clarify how individuals perceive and monitor their functioning under the influence of cannabis in cognitive settings and in real-world contexts such as driving.

Conclusion

This systematic review highlights the lack of investigation into the alignment of objective and subjective assessments in the cognitive and driving domains in the context of cannabis use. Combining both measures may provide the most comprehensive understanding of cannabis effects across different domains. This approach could help determine how cannabis users are aware of their abilities and the impact thereof on driving decision-making. Future research should prioritize understanding the concordance between performance and the perception of said performance, including metacognitive judgments, to inform evidence-based guidelines and interventions.

References

Adam, K. C. S., Doss, M. K., Pabon, E., Vogel, E. K., & de Wit, H. (2020). Δ^9-Tetrahydrocannabinol (THC) impairs visual working memory performance: A randomized crossover trial. *Neuropsychopharmacology*, *45*(11), 1807-1816. https://doi.org/10.1038/s41386-020-0690-3

Arkell, T. R., Kevin, R. C., Vinckenbosch, F., Lintzeris, N., Theunissen, E., Ramaekers, J. G., & McGregor, I. S. (2022). Sex differences in acute cannabis effects revisited: Results from two randomized, controlled trials. *Addiction Biology*, *27*(2), 1-10. https://doi.org/10.1111/adb.13125

Arkell, T. R., Lintzeris, N., Kevin, R. C., Ramaekers, J. G., Vandrey, R., Irwin, C., Haber, P. S., & McGregor, I. S. (2019). Cannabidiol (CBD) content in vaporized cannabis does not prevent tetrahydrocannabinol (THC)-induced impairment of driving and cognition. *Psychopharmacology*, *236*(9), 2713-2724. https://doi.org/10.1007/s00213-019-05246-8

Arkell, T. R., Lintzeris, N., Mills, L., Suraev, A., Arnold, J. C., & McGregor, I. S. (2020, Dec). Driving-related behaviours, Attitudes and perceptions among Australian medical cannabis users: Results from the CAMS 18-19 Survey. *Accident Analysis & Prevention*, *148*, 1-8. https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105784

Ballard, M. E., & de Wit, H. (2011). Combined effects of acute, very-low-dose ethanol and delta(9)-tetrahydrocannabinol in healthy human volunteers. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, *97*(4), 627-631. https://doi.org/10.1016/j.pbb.2010.11.013

Battistella, G., Fornari, E., Thomas, A., Mall, J.-F., Chtioui, H., Appenzeller, M., Annoni, J.-M., Favrat, B., Maeder, P., & Giroud, C. (2013). Weed or wheel! FMRI, behavioural, and toxicological investigations of how cannabis smoking affects skills necessary for driving. *PloS one*, *8*(1), 1-15. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0052545

Beaulieu-Thibodeau, A., Huỳnh, C., Fallu, J.-S., & Wang, Y. F. (2023). Motives for driving after cannabis use: A scoping review. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *99*, 149-166. https://doi.org/10.1016/j.trf.2023.10.012

Bedi, G., Cooper, Z. D., & Haney, M. (2013). Subjective, cognitive and cardiovascular dose-effect profile of nabilone and dronabinol in marijuana smokers. *Addiction Biology*, *18*(5), 872-881. https://doi.org/10.1111/j.1369-1600.2011.00427.x

Bourque, J., & Potvin, S. (2021). Cannabis and cognitive functioning: From acute to residual effects, from randomized controlled trials to prospective designs. *Frontiers in Psychiatry*, *12*, 1-12. https://doi.org/10.3389/fpsyt.2021.596601

Brands, B., Mann, R. E., Wickens, C. M., Sproule, B., Stoduto, G., Sayer, G. S., Burston, J., Pan, J. F., Matheson, J., Stefan, C., George, T. P., Huestis, M. A., Rehm, J., & Le Foll, B. (2019). Acute and residual effects of smoked cannabis: Impact on driving speed and lateral control, heart rate, and self-reported drug effects. *Drug Alcohol Depend*, *205*, 1-8. https://doi.org/10.1016/j.drugalcdep.2019.107641

Brooks-Russell, A., Brown, T., Friedman, K., Wrobel, J., Schwarz, J., Dooley, G., Ryall, K. A., Steinhart, B., Amioka, E., Milavetz, G., Sam Wang, G., & Kosnett, M. J. (2021). Simulated driving performance among daily and occasional cannabis users. *Accident Analysis & Prevention*, *160*, 1-9. https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106326

Broyd, S. J., van Hell, H. H., Beale, C., Yuecel, M., & Solowij, N. (2016). Acute and chronic effects of cannabinoids on human cognition – A systematic review. *Biological Psychiatry*, *79*(7), 557-567. https://doi.org/10.1016/j.biopsych. 2015.12.002

Chan, R. C., Shum, D., Toulopoulou, T., & Chen, E. Y. (2008). Assessment of executive functions: Review of instruments and identification of critical issues. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *23*(2), 201-216. https://doi.org/10.1016/j.acn.2007.08.010

Curran, H. V., Brignell, C., Fletcher, S., Middleton, P., & Henry, J. (2002). Cognitive and subjective dose-response effects of acute oral Δ^9-tetrahydrocannabinol (THC) in infrequent cannabis users. *Psychopharmacology*, *164*(1), 61-70. https://doi.org/10.1007/s00213-002-1169-0

Dellazizzo, L., Potvin, S., Giguère, S., & Dumais, A. (2022). Evidence on the acute and residual neurocognitive effects of cannabis use in adolescents and adults: A systematic meta-review of meta-analyses. *Addiction*, *117*(7), 1857-1870. https://doi.org/10.1111/add.15764

Desrosiers, N. A., Ramaekers, J. G., Chauchard, E., Gorelick, D. A., & Huestis, M. A. (2015). Smoked cannabis' psychomotor and neurocognitive effects in occasional and frequent smokers. *Journal of Analytical Toxicology, 39*(4), 251-261. https://doi.org/10.1093/jat/bkv012

Duckworth, A. L., & Kern, M. L. (2011). A meta-analysis of the convergent validity of self-control measures. *Journal of Research in Personality, 45*(3), 259-268. https://doi.org/10.1016/j.jrp.2011.02.004

Englund, A., Oliver, D., Chesney, E., Chester, L., Wilson, J., Sovi, S., De Micheli, A., Hodsoll, J., Fusar-Poli, P., Strang, J., Murray, R. M., Freeman, T. P., & McGuire, P. (2023). Does cannabidiol make cannabis safer? A randomised, double-blind, cross-over trial of cannabis with four different CBD:THC ratios. *Neuropsychopharmacology, 48*(6), 869-876. https://doi.org/10.1038/s41386-022-01478-z

Fares, A., Wickens, C. M., Mann, R. E., Di Ciano, P., Wright, M., Matheson, J., Hasan, O. S. M., Rehm, J., George, T. P., Samokhvalov, A. V., Shuper, P. A., Huestis, M. A., Stoduto, G., Brown, T., Stefan, C., Rubin-Kahana, D. S., Le Foll, B., & Brands, B. (2022). Combined effect of alcohol and cannabis on simulated driving. *Psychopharmacology, 239*(5), 1263-1277. https://doi.org/10.1007/s00213-021-05773-3

Hart, C. L., van Gorp, W., Haney, M., Foltin, R. W., & Fischman, M. W. (2001). Effects of acute smoked marijuana on complex cognitive performance. *Neuropsychopharmacology: Official Publication of the American College of Neuropsychopharmacology, 25*(5), 757-765. https://doi.org/10.1016/S0893-133X(01)00273-1

Hartley, S., Simon, N., Cardozo, B., Larabi, I. A., & Alvarez, J. C. (2023). Can inhaled cannabis users accurately evaluate impaired driving ability? A randomized controlled trial. *Frontiers in Public Health, 11*, 1-13. https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1234765

Hunault, C. C., Böcker, K. B. E., Stellato, R. K., Kenemans, J. L., de Vries, I., & Meulenbelt, J. (2014). Acute subjective effects after smoking joints containing up to 69 mg Δ9-tetrahydrocannabinol in recreational users: A randomized, crossover clinical trial. *Psychopharmacology, 231*(24), 4723-4733. https://doi.org/10.1007/s00213-014-3630-2

Hunault, C. C., Mensinga, T. T., Böcker, K. B., Schipper, C. M. A., Kruidenier, M., Leenders, M. E., de Vries, I., & Meulenbelt, J. (2009). Cognitive and psychomotor effects in males after smoking a combination of tobacco and cannabis containing up to 69 mg delta-9-tetrahydrocannabinol (THC). *Psychopharmacology, 204*, 85-94. https://doi.org/10.1007/s00213-008-1440-0

Kollins, S. H., Schoenfelder, E. N., English, J. S., Holdaway, A., van Voorhees, E., O'Brien, B. R., Dew, R., & Chrisman, A. K. (2015, Jan). An exploratory study of the combined effects of orally administered methylphenidate and delta-9-tetrahydrocannabinol (THC) on cardiovascular function, subjective effects, and performance in healthy adults. *Journal of Substance Abuse Treatment, 48*(1), 96-103. https://doi.org/10.1016/j.jsat.2014.07.014

Kowal, M. A., van Steenbergen, H., Colzato, L. S., Hazekamp, A., van der Wee, N. J., Manai, M., Durieux, J., & Hommel, B. (2015, Nov). Dose-dependent effects of cannabis on the neural correlates of error monitoring in frequent cannabis users. *European Neuropsychopharmacology, 25*(11), 1943-1953. https://doi.org/10.1016/j.euroneuro.2015.08.001

Lile, J. A., Kelly, T. H., & Hays, L. R. (2014, Oct 1). Separate and combined effects of the GABAA positive allosteric modulator diazepam and Δ⁹-THC in humans discriminating Δ⁹-THC. *Drug Alcohol Depend, 143*, 141-148. https://doi.org/10.1016/j.drugalcdep.2014.07.016

Love, S., Larue, G. S., & Rowland, B. (2023). Alignment of subjective and objective driving impairment following alcohol and cannabis use: A systematic review. *Applied Cognitive Psychology, 37*(6), 1167-1182. https://doi.org/10.1002/acp.4111

Marcotte, T. D., Umlauf, A., Grelotti, D. J., Sones, E. G., Sobolesky, P. M., Smith, B. E., Hoffman, M. A., Hubbard, J. A., Severson, J., Huestis, M. A., Grant, I., & Fitzgerald, R. L. (2022, Mar 1). Driving performance and cannabis users' perception of safety: A randomized clinical trial. *JAMA Psychiatry, 79*(3), 201-209. https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2021.4037

Matheson, J., Sproule, B., Di Ciano, P., Fares, A., Le Foll, B., Mann, R. E., & Brands, B. (2020). Acute and residual mood and cognitive performance of young adults following smoked cannabis. *Psychopharmacology, 237*(2), 305-316. https://doi.org/10.1007/s00213-019-05369-y

McCarthy, D. M., Lynch, A. M., & Pedersen, S. L. (2007). Driving after use of alcohol and marijuana in college students. *Psychology of Addictive Behaviors, 21*(3), 425-430. https://doi.org/10.1037/0893-164x.21.3.425

McCartney, D., Arkell, T. R., Irwin, C., & McGregor, I. S. (2021). Determining the magnitude and duration of acute Δ9-tetrahydrocannabinol (Δ9-THC)-induced driving and cognitive impairment: A systematic and meta-analytic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 126*, 175-193. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.01.003

McDonald, J., Schleifer, L., Richards, J. B., & de Wit, H. (2003). Effects of THC on behavioral measures of impulsivity in humans. *Neuropsychopharmacology, 28*(7), 1356-1365. https://doi.org/10.1038/sj.npp.1300176

Micallef, J., Dupouey, J., Jouve, E., Truillet, R., Lacarelle, B., Taillard, J., Daurat, A., Authié, C., Blin, O., Rascol, O., Philip, P., & Mestre, D. (2018). Cannabis smoking impairs driving performance on the simulator and real driving: A randomized, double-blind, placebo-controlled, crossover trial. *Fundamental & Clinical Pharmacology, 32*(5), 558-570. https://doi.org/10.1111/fcp.12382

Mokrysz, C., Freeman, T. P., Korkki, S., Griffiths, K., & Curran, H. V. (2016, Nov 29). Are adolescents more vulnerable to the harmful effects of cannabis than adults? A placebo-controlled study in human males. *Transl Psychiatry, 6*(11), 1-10. https://doi.org/10.1038/tp.2016.225

Murray, C. H., Huang, Z., Lee, R., & de Wit, H. (2022, Jun). Adolescents are more sensitive than adults to acute behavioral and cognitive effects of THC. *Neuropsychopharmacology, 47*(7), 1331-1338. https://doi.org/10.1038/s41386-022-01281-w

Nelson, T. O. (1990). Metamemory: A theoretical framework and new findings. In G. H. Bower (Ed.), *Psychology of learning and motivation* (vol. 26, pp. 125-173). Elsevier. https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60053-5

Ogourtsova, T., Kalaba, M., Gelinas, I., Korner-Bitensky, N., & Ware, M. A. (2018). Cannabis use and driving-related performance in young recreational users: A within-subject randomized clinical trial. *CMAJ Open, 6*(4), E453-E462. https://doi.org/10.9778/cmajo.20180164

Oomen, P. P., van Hell, H. H., & Bossong, M. G. (2018). The acute effects of cannabis on human executive function. *Behavioural Pharmacology, 29*(7), 605-616. https://doi.org/10.1097/FBP.0000000000000426

Pabon, E., & de Wit, H. (2019, Sep). Developing a phone-based measure of impairment after acute oral Δ(9)-tetrahydrocannabinol. *Journal of Psychopharmacology, 33*(9), 1160-1169. https://doi.org/10.1177/0269881119862533

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., & Brennan, S. E. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ, 372*, 1-11. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Ramaekers, J. G., Mason, N. L., Kloft, L., & Theunissen, E. L. (2021). The why behind the high: Determinants of neurocognition during acute cannabis exposure. *Nature Reviews. Neuroscience*, *22*(7), 439-454. https://doi.org/10.1038/s41583-021-00466-4

Ramaekers, J. G., Mason, N. L., & Theunissen, E. L. (2020). Blunted highs: Pharmacodynamic and behavioral models of cannabis tolerance. *European Neuropsychopharmacology*, *36*, 191-205. https://doi.org/10.1016/j.euroneuro.2020.01.006

Ramaekers, J. G., Robbe, H. W., & O'Hanlon, J. F. (2000, Oct). Marijuana, alcohol and actual driving performance. *Human Psychopharmacology, 15*(7), 551-558. https://doi.org/10.1002/1099-1077(200010)15:7<551::AID-HUP236>3.0.CO;2-P

Ramaekers, J. G., van Wel, J., Spronk, D., Toennes, S., Kuypers, K., Theunissen, E., & Verkes, R.-J. (2016). Cannabis and tolerance: Acute drug impairment as a function of cannabis use history. *Scientific Reports*, *6*(1), 1-9. https://doi.org/10.1038/srep26843

Ronen, A., Chassidim, H. S., Gershon, P., Parmet, Y., Rabinovich, A., Bar-Hamburger, R., Cassuto, Y., & Shinar, D. (2010). The effect of alcohol, THC and their combination on perceived effects, willingness to drive and performance of driving and non-driving tasks. *Accident Analysis & Prevention*, *42*(6), 1855-1865. https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.05.006

Schlienz, N. J., Spindle, T. R., Cone, E. J., Herrmann, E. S., Bigelow, G. E., Mitchell, J. M., Flegel, R., LoDico, C., & Vandrey, R. (2020). Pharmacodynamic dose effects of oral cannabis ingestion in healthy adults who infrequently use cannabis. *Drug Alcohol Depend, 211*, 1-8. https://doi.org/10.1016/j.drugalcdep.2020.107969

Schnakenberg Martin, A. M., Flynn, L. T., Sefik, E., Luddy, C., Cortes-Briones, J., Skosnik, P. D., Pittman, B., Ranganathan, M., & D'Souza, D. C. (2023). Preliminary study of the interactive effects of THC and ethanol on self-reported ability and simulated driving, subjective effects, and cardiovascular responses. *Psychopharmacology*, *240*(6), 1235-1246. https://doi.org/10.1007/s00213-023-06356-0

Spindle, T. R., Cone, E. J., Schlienz, N. J., Mitchell, J. M., Bigelow, G. E., Flegel, R., Hayes, E., & Vandrey, R. (2018). Acute effects of smoked and vaporized cannabis in healthy adults who infrequently use cannabis: A crossover trial. *JAMA Network Open*, *1*(7), 1-14. https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2018.4841

Spindle, T. R., Martin, E. L., Grabenauer, M., Woodward, T., Milburn, M. A., & Vandrey, R. (2021). Assessment of cognitive and psychomotor impairment, subjective effects, and blood THC concentrations following acute administration of oral and vaporized cannabis. *Journal of Psychopharmacology*, *35*(7), 786-803. https://doi.org/10.1177/02698811211021583

Sugarman, D. E., Poling, J., & Sofuoglu, M. (2011). The safety of modafinil in combination with oral Δ9-tetrahydrocannabinol in humans. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, *98*(1), 94-100. https://doi.org/10.1016/j.pbb.2010.12.013

Toplak, M. E., West, R. F., & Stanovich, K. E. (2013). Practitioner review: Do performance-based measures and ratings of executive function assess the same construct? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *54*(2), 131-143. https://doi.org/10.1111/jcpp.12001?download=true

Vandrey, R., Herrmann, E. S., Mitchell, J. M., Bigelow, G. E., Flegel, R., LoDico, C., & Cone, E. J. (2017). Pharmacokinetic profile of oral cannabis in humans: Blood and oral fluid disposition and relation to pharmacodynamic outcomes. *Journal of Analytical Toxicology, 41*(2), 83-99. https://doi.org/10.1093/jat/bkx012

van Wel, J. H., Spronk, D. B., Kuypers, K. P., Theunissen, E. L., Toennes, S. W., Verkes, R. J., & Ramaekers, J. G. (2015). Psychedelic symptoms of cannabis and cocaine use as a function of trait impulsivity. *Journal of Psychopharmacology*, *29*(3), 324-334. https://doi.org/10.1177/0269881114563633

Verbruggen, F., McLaren, I. P., & Chambers, C. D. (2014). Banishing the control homunculi in studies of action control and behavior change. *Perspectives on Psychological Science*, *9*(5), 497-524. https://doi.org/10.1177_1745691614526414

Weinstein, A., Brickner, O., Lerman, H., Greemland, M., Bloch, M., Lester, H., Chisin, R., Sarne, Y., Mechoulam, R., & Bar-Hamburger, R. (2008). A study investigating the acute dose—response effects of 13 mg and 17 mg Δ 9-tetrahydrocannabinol on cognitive—motor skills, subjective and autonomic measures in regular users of marijuana. *Journal of Psychopharmacology*, *22*(4), 441-451. https://doi.org/10.1177/0269881108088194

Wickens, C. M., Wright, M., Mann, R. E., Brands, B., Di Ciano, P., Stoduto, G., Fares, A., Matheson, J., George, T. P., & Rehm, J. (2022). Separate and combined effects of alcohol and cannabis on mood, subjective experience, cognition and psychomotor performance: A randomized trial. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, *118*, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2022.110570

Zamarripa, C. A., Spindle, T. R., Surujunarain, R., Weerts, E. M., Bansal, S., Unadkat, J. D., Paine, M. F., & Vandrey, R. (2023). Assessment of orally administered Δ9-tetrahydrocannabinol when coadministered with cannabidiol on Δ9-tetrahydrocannabinol pharmacokinetics and pharmacodynamics in healthy adults: A randomized clinical trial. *JAMA Netw Open*, *6*(2), 1-15. https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2022.54752

Résumé substantiel en français – Article scientifique 2

Objectif

Les effets aigus de la consommation de cannabis sur certaines capacités cognitives et de conduite sont bien documentés provenant des mesures de performances objectives d'études en laboratoire. Cependant, la perception subjective de ces effets est peu connue. L'objectif de cette étude était d'examiner l'aspect subjectif, plus particulièrement les connaissances métacognitives déclaratives des effets du cannabis sur la cognition.

Méthode

Il y a 130 consommatrices et consommateurs de cannabis depuis plus d'un an qui ont répondu à un questionnaire en ligne alors qu'ils étaient à jeun au moment de la passation. Le questionnaire comportait 32 items portant sur diverses fonctions cognitives. Chaque item devait être répondu trois fois, sur l'état sans cannabis ou à jeun, sur l'état sous l'effet du cannabis et sur l'état après la dissipation des effets. Un score plus élevé indiquait plus de difficultés perçues. Des ANOVAs à mesures répétées ont été réalisées ainsi qu'une analyse factorielle exploratoire afin d'explorer s'il y avait des différences significatives entre les trois états.

Résultats

Les scores globaux cognitifs perçus étaient significativement différents entre les trois états ($F_{[2, 258]} = 13.73$, $p < .001$, $\eta^2 = 0.096$). Ensuite, de l'analyse factorielle exploratoire sont ressorties trois dimensions nommées : persistance, flexibilité et impulsivité. Enfin, les

résultats des analyses ont rapporté des scores de persistance perçue plus faibles dans l'état à jeun que dans l'état sous l'effet. Les scores de flexibilité perçue étaient significativement plus élevés dans l'état sous l'effet comparé à l'état à jeun et l'état après la dissipation, et plus élevés dans l'état après la dissipation que l'état à jeun. Les scores d'impulsivité perçue étaient plus faibles dans l'état sous l'effet qu'à l'état à jeun.

Discussion

Les résultats suggèrent une difficulté perçue plus élevée pour les dimensions de persistance et de flexibilité dans l'état sous l'effet du cannabis comparativement à l'état à jeun, tandis que la difficulté perçue d'impulsivité serait plus faible sous l'effet du cannabis. Les scores de persistance et de flexibilité perçues semblent donc aller dans le même sens que plusieurs résultats d'études en laboratoire, tandis que c'est plutôt le contraire pour l'impulsivité perçue. Ces résultats indiquent que les connaissances métacognitives déclaratives des personnes qui consomment du cannabis concernant leurs capacités cognitives pourraient différer entre les états à jeun, sous l'effet et après la dissipation ainsi qu'entre les états de chaque dimension.

Conclusion

Cette étude souligne donc l'importance de l'intégration de l'aspect métacognitif dans les études futures sur les effets du cannabis sur la cognition. Les connaissances métacognitives déclaratives pourraient permettre de mieux comprendre comment les

consommatrices et consommateurs de cannabis perçoivent les effets sur leur propre fonctionnement et contribuer au développement de stratégies de prévention.

Article scientifique 2

Users self-perception of the effects of cannabis on cognition

Users self-perception of the effects of cannabis on cognition

Stéphanie Lavoie* & Sylvain Sirois

Département de psychologie, Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières (Qc), Canada

* Corresponding author.

E-mail address: stephanie.lavoie3@uqtr.ca

Abstract

Background: Laboratory studies have documented acute THC-induced cognitive impairments, but little is known about how users perceive these effects in daily life. Understanding users' metacognitive knowledge is key to bridging the gap between perception and performance. This study examined cannabis users' subjective effect of cognition across three conditions: no effect, acute effects, and post-effect dissipation. *Method:* A total of 130 users completed a 32-item online questionnaire assessing perceived cognitive functioning across various domains. Exploratory factor analysis (EFA) identified latent dimensions, followed by repeated-measures ANOVAs to examine condition differences. *Results:* Global cognitive functioning was perceived as significantly more affected under acute cannabis effects than no effect and post-effect conditions ($F_{[2, 258]} = 13.73$, $p < .001$, $\eta^2 = 0.096$). EFA revealed three dimensions: persistence, flexibility, and impulsivity. Persistence was significantly poorer under effect than post-effect. Flexibility demonstrated significant differences between all conditions. Interestingly, impulsivity showed an inverse pattern, with participants reporting less impulsivity under the influence of cannabis compared with no effect. *Conclusion:* Cannabis users demonstrate metacognitive knowledge of cognition that partially aligns with laboratory findings. The emergence of distinct subjective profiles highlights the value of self-report tools to capture heterogeneity in perceived cannabis effects.

Keywords: Tetrahydrocannabinol (THC); Executive Functions; Subjective effect; Cognitive control

Introduction

The legalization of recreational cannabis use has generated much discussion and concern about the effects of this substance on the brain (Ramaekers et al., 2021). The acute use of tetrahydrocannabinol (THC), the main psychoactive component of cannabis, has been shown to affect cognitive and psychomotor performance (Broyd et al., 2016; Crean et al., 2011). Several processes have frequently been examined in the context of executive function (EF) or cognitive control. However, there is no unified definition of this construct, no consensus on which domains it includes (Baggetta & Alexander, 2016), and how it should be measured. Generally, EF is described as a set of cognitive processes that regulate thoughts and actions to support complex tasks, such as planning, decision-making, staying focused, and guiding adaptive behavior in changing environments (Chan et al., 2008; Diamond, 2013; Egner, 2017).

This conceptual heterogeneity is particularly evident in cannabis research, where acute cannabis-related changes have been reported across a wide range of cognitive domains, including inhibition and motor impulsivity (McDonald et al., 2003; Metrik et al., 2012; Ramaekers et al., 2009), working memory (D'Souza et al., 2004, 2008; Hart et al., 2001; Kollins et al., 2015; Mokrysz et al., 2016), flexibility (Weinstein et al., 2008), attention to including sustained and divided attention (Arkell et al., 2019; Ramaekers et al., 2016), planning and decision-making (Ramaekers et al., 2006; van Wel et al., 2013), psychomotor control (Desrosiers et al., 2015; Ramaekers et al., 2009) and time perception (McDonald et al., 2003; Sewell et al., 2013).

Although several laboratory studies have contributed to a better understanding of the effect of cannabis on certain cognitive domains, they typically rely predominantly on objective performance measures. A systematic review currently under review (Lavoie & Sirois, submitted) examined studies that compared the subjective and objective measures of cognitive functioning under the influence of cannabis. This reveals a lack of research assessing how users evaluate their cognitive performance while engaged in a task, highlighting the need for greater integration of these two perspectives. The literature defines these self-evaluations during task execution as *metacognitive experiences* that fall within the broader domain of *metacognition*, defined as the ability to monitor and regulate one's cognitive functioning (Flavell, 1979). Within this framework, metacognition encompasses both *metacognitive experiences* and *metacognitive knowledge*, the latter referring to general beliefs and representations of one's cognitive and behavioral abilities across situations and over time (Efklides, 2006). Both forms of information contribute to *metacognitive monitoring*, which generates internal feedback used to guide regulatory processes such as strategy selection or behavioral decisions (Nelson, 1990). While metacognitive experiences have been largely overlooked, metacognitive knowledge also deserves attention, as it may shape individuals' expectations and guide decision-making in real-life contexts. This lack of research raises an important question: do cannabis users perceive the same cognitive effects as those identified in laboratory studies? On a practical level, important decisions in the daily lives of cannabis users, such as whether or not to drive under the influence, rely on their subjective assessment of their cognitive abilities,

and not published findings from laboratory studies. Evaluating self-awareness has important policy and educational implications.

Determining whether cannabis users retrospectively perceive changes in their cognitive functioning is challenging because this form of metacognitive knowledge remains poorly documented in the literature. Some studies have investigated cognitive effects using the *Barratt Impulsiveness Scale* (BIS; Patton et al., 1995). These studies reported significantly higher scores on the motor impulsivity subscale (motor activity and lack of perseverance; Gruber et al., 2011) and non-planning impulsivity (poor self-control and intolerance of cognitive complexity; Gruber et al., 2011; Moreno et al., 2012). Similarly, Griffith-Lendering et al. (2012) showed that recreational cannabis users report higher levels of impulsivity in daily life and display greater risk-taking in motivational contexts. However, participants in these studies did not complete the questionnaires while under acute effect, nor were they instructed to report how they typically behaved under effect. Instead, their responses likely reflect general trait-level impulsivity. Consequently, responses likely reflect general, trait-level impulsivity rather than capturing state fluctuations related to cannabis use (i.e., lack of comparative data across non-effect, acute-effect, and post-effect states). Additional instruments have been developed to assess cannabis effect expectancy, including the *Cannabis Expectancy Questionnaire* (CEQ; Young & Kavanagh, 1997) and the *Marijuana Effect Expectancies Questionnaire* (MEEQ; Schafer & Brown, 1991). Nonetheless, these questionnaires provide an overview of a limited set of cognitive components, and fail to provide a comprehensive assessment.

To our knowledge, no study has assessed cannabis users' metacognitive knowledge of global executive and cognitive functioning. Considering the heterogeneous and multidimensional nature of these constructs, it is important to examine multiple processes that reflect how individuals evaluate and represent daily functioning.

More complete subjective questionnaires based on behavior exist in neuropsychology and have better ecological validity than cognitive tests, but they are not adapted to the cannabis context. These questionnaires could potentially be useful for investigating users' perceptions of their executive functioning. However, they often contain numerous items and cannot be administered in their entirety. Some questionnaires, such as the *Barkley Deficits in Executive Functioning Scale* (BDEFS; Barkley, 2012), claim to assess executive functioning but do not include distinct scales that correspond directly to the traditional cognitive components of EF (e.g., inhibition, working memory, cognitive flexibility). Instead, the BDEFS focuses on domains such as self-management over time, self-organization/problem solving, and self-restraint, which are conceptually related, but do not match the neuropsychological definitions of executive functions. Similarly, the *Behavior Rating Inventory of Executive Function – Adult version* (BRIEF-A; Gioia et al., 2000) includes scales such as self-control and task control, which reflect behavioral manifestations of EF difficulties in everyday life, but are broader and not specific to cognitive constructs typically measured in laboratory tasks.

Other tools, such as the *Cognitive Failure Questionnaire* (CFQ; Wallace et al., 2002) or *Dysexecutive Questionnaire* (DEX; Burgess et al., 1998) are primarily designed to detect cognitive or dysexecutive symptoms and do not provide a nuanced assessment of individual executive components relevant to cannabis use.

Given the lack of cannabis-specific self-report tools, and the fact that existing questionnaires do not adequately reflect global executive and cognitive functioning, there is a need for an instrument adapted to users' perceptions. Compared to metacognitive experiences conducted in the laboratory, metacognitive knowledge can be assessed through retrospective self-reports. This allows for the evaluation of how users consciously represent their cognitive functioning in different cannabis-related states.

Therefore, the present study aimed to explore metacognitive knowledge of cognition by developing and administering an online questionnaire adapted to cannabis users. The self-report investigated cognitive activities across three state conditions: (1) no effect (baseline, or prior to consumption), (2) under acute effects, and (3) after the effects dissipated (approximately six hours post-consumption). These three conditions were compared to examine whether users perceive changes between states and whether these changes occur in specific cognitive domains. This descriptive approach can provide unique insights into how users' subjective measures align with objective findings from laboratory-based research.

Method

Participants

A total of 130 French-speaking Canadian cannabis users (Mean age = 36.76, *SD* = 10.9; 65 men, 65 women) completed the questionnaire, which was accessible via a Web link published via the Facebook platform. The recruitment advertisement invited adults who had been cannabis users and had been for at least a year, and who did not use prescription drugs to treat depression, anxiety, attention deficit/hyperactivity disorder (ADHD), or schizophrenia. This research was approved by the Ethics Committee of (XXXX).

Procedures and materials

Interested participants clicked on the link in the recruitment ad leading to an online questionnaire. First, an information and consent form was presented and had to be accepted. Then, two questions regarding eligibility criteria had to be answered. The first criterion consisted of not being under the influence of cannabis at the time of answering the questionnaire, and the second criterion was 21 years of age or older (the minimum legal age for cannabis use is XXXX). If a potential participant did not meet or answer any of the criteria, the questionnaire was ended. Others were asked to answer demographic and cannabis use questions followed by the section on perceived cognitive functioning. Tables 1 and 2 summarize the demographic and cannabis use data, respectively.

Table 1

Demographic characteristics

Characteristics	%
Educational level	
Elementary school	4
Secondary (high) school	20
Professional school	23
College or CEGEP	28
University	25
Annual income ($CA)	
- 15000	10
15001 – 30000	19
30001 – 50000	28
50001 – 75000	21
75001 +	22
Occupation	
Unemployment	15
Work part time	10
Work full time	62
Student	9
Retired	4

Table 2

Cannabis use characteristics

Characteristics	%
Years of cannabis use (SD)	9.4 (3.36)
Frequency of use	
-1x/month	1
1x/month	1
2-3 x/month	6
1-3x/week	7
> 4 day/week	13
Everyday	72
Type of products consumed	
Flowers	92
Hashich	45
Oil	27
Vaporizers	13
Concentrates	13
Cannabis-based edible products	22
Cannabis-based beverages	10
Topical agents	3
Use reasons	
Medical	43
Motivation	31
Creativity	47
Shyness	9
Stress/anxiety	53
Sleep	64
High	45
Mood	50
Energy	25
Impulsivity management	23
Anger management	23
Global perception of use	
Benefit	60
Neutral	36
Inconvenient	4

Self-report executive functioning

Global cognition was measured using a 32-item questionnaire adapted to cannabis users and cognitive domains reportedly affected by cannabis in the literature: inhibition, impulsivity, working memory, flexibility, attention, planning, time perception, and decision making. For each item, participants were asked to indicate the frequency of their perception of their daily life on a 4-point Likert-type scale, with options (1) “never or very rarely”, (2) “sometimes”, (3) “often”, and (4) “very often”. Each item had to be answered according to three conditions times: no effect (corresponding to baseline, the normal functional state, generally prior consumption), under the acute effect of cannabis, and when the effects disappeared (after acute effects subsided or approximately 6 hours after consumption). Participants provided answers for all three conditions for one item before moving on to the next.

Elaboration of items

The elaboration of the items was inspired by the aforementioned neuropsychology questionnaires (BDEFS-A, BRIEF-A, BIS, CFQ, DEX, CPE, CEQ and MEEQ). See the Supplemental Material for details. Additional items were elaborated to evaluate specific dimensions that were not tapped by the reference questionnaires, for example, to assess time perception (see Table 3). Given the diversity of terms, definitions, and conceptualizations of the various executive functions, the elaboration of the additional items was based on a practical rationale.

Table 3

Rotated factor matrix for cognition

	Factor		
	1	2	3
Difficulty concentrating (No effect)	.436		
Difficulty concentrating (Under effect)	.451		
Difficulty concentrating (After effect)	.513		
Divided attention (No effect)			
Divided attention (Under effect)			
Divided attention (After effect)			
Distracted by the environment (No effect)	.528		
Distracted by the environment (Under effect)	.416		
Distracted by the environment (After effect)	.522		
Distracted by internal thoughts (No effect)	.574		
Distracted by internal thoughts (Under effect)	.476		
Distracted by internal thoughts (After effect)	.559		
Daydreaming (No effect)	.621		
Daydreaming (Under effect)	.742		
Daydreaming (After effect)	.706		
Maintain attention (No effect)			
Maintain attention (Under effect)			
Maintain attention (After effect)			
Losing objects (No effect)	.541		
Losing objects (Under effect)	.544		
Losing objects (After effect)	.562		
Forget ongoing task (No effect)	.548		
Forget ongoing task (Under effect)	.703		
Forget ongoing task (After effect)	.608		
Remembering numbers (No effect)		.539	
Remembering numbers (Under effect)		.526	
Remembering numbers (After effect)		.553	
Reading without retaining (No effect)	.447		
Reading without retaining (Under effect)	.564		
Reading without retaining (After effect)	.561		
Task-switching (No effect)	.437		
Task-switching (Under effect)			

Table 3

Rotated factor matrix for cognition (continued)

	Factor		
	1	2	3
Task-switching (After effect)	.452		
Clumsy movements (No effect)	.466		
Clumsy movements (Under effect)	.493		
Clumsy movements (After effect)	.475		
Uncontrolled gestures (No effect)			
Uncontrolled gestures (Under effect)			
Uncontrolled gestures (After effect)		.448	
Losing motivation easily (Under effect)			
Losing motivation easily (Under effect)	.450		
Losing motivation easily (After effect)	.537		
Difficulty completing tasks (No effect)	.518		
Difficulty completing tasks (Under effect)	.520		
Difficulty completing tasks (After effect)	.559		
Motivation for reward (No effect)	.416		
Motivation for reward (Under effect)	.419		
Motivation for reward (After effect)	.432		
Mental speed (No effect)		.455	
Mental speed (Under effect)		.446	
Mental speed (After effect)		.517	
Organisation (No effect)			
Organisation (Under effect)			
Organisation (After effect)			
Planning tasks (No effect)			
Planning tasks (Under effect)			
Planning tasks (After effect)			
Planning priorities (No effect)		.572	
Planning priorities (Under effect)	.445	.559	
Planning priorities (After effect)		.589	
Timed motor precision (No effect)		.558	

Table 3

Rotated factor matrix for cognition (continued)

	Factor		
	1	2	3
Timed motor precision (Under effect)		.488	
Timed motor precision (After effect)		.583	
Time estimation (No effect)		.515	
Time estimation (Under effect)		.519	
Time estimation (After effect)		.527	
Social impact awareness (No effect)			
Social impact awareness (Under effect)			
Social impact awareness (After effect)			
Monitoring internal emotions (No effect)			
Monitoring internal emotions (Under effect)			
Monitoring internal emotions (After effect)			
Acting on impulse (No effect)			.746
Acting on impulse (Under effect)			.693
Acting on impulse (After effect)			.766
Impulsive behaviors (No effect)			.711
Impulsive behaviors (Under effect)			.694
Impulsive behaviors (After effect)			.768
Problem solving (No effect)			
Problem solving (Under effect)	.431		
Problem solving (After effect)	.460		
Solving by trial and error (No effect)			
Solving by trial and error (Under effect)			
Solving by trial and error (After effect)			
Gambling (No effect)			
Gambling (Under effect)			
Gambling (After effect)			
Risk-taking behaviors (No effect)			
Risk-taking behaviors (Under effect)			
Risk-taking behaviors (After effect)			

Table 3

Rotated factor matrix for cognition (continued)

	Factor		
	1	2	3
Making decisions (No effect)	.497		
Making decisions (Under effect)	.534		
Making decisions (After effect)	.563		
Anticipating consequences (No effect)			
Anticipating consequences (Under effect)		.421	
Anticipating consequences (After effect)		.471	

Statistical analyses

All statistical analyses were conducted using the IBM SPSS (version 28.0). Exploratory factor analysis (EFA) will be performed on the questionnaire items to identify the latent structure underlying participants' cognitive self-assessments. The suitability of the data will be evaluated using the Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) measure of sampling adequacy and Bartlett's test of sphericity. Factor extraction will be carried out using the maximum-likelihood method. The number of factors to retain will be determined based on two criteria: eigenvalues greater than 1.0 (Kaiser's criterion) and visual inspection of the scree plot. A Varimax orthogonal rotation will then be applied to enhance the interpretability of the factor structure. Items with factor loadings equal to or greater than .50 will be retained for interpretation. Composite scores for each retained factor will be computed by averaging the items that load significantly on that factor. These scores will be submitted to a series of repeated-measures ANOVAs to assess perceived differences in cognitive functioning across three conditions: no effect, under effect, and after the effect

dissipated. The assumption of sphericity will be assessed using the Mauchly's test. When violated, Greenhouse-Geisser corrections will be applied. Bonferroni-adjusted pairwise comparisons will be used to explore the differences between the conditions.

Results

Global perspective of cognitive functioning

A repeated-measures ANOVA was conducted on global cognitive scores across the three conditions (no effect, under effect, and after effect dissipated). The assumption of sphericity was met and the results remained consistent across all corrections (Greenhouse-Geisser and Huynh-Feldt). The analysis revealed a significant main effect of condition, $F(2, 258) = 13.73$, $p < .001$, partial $\eta^2 = 0.096$, with a high observed power (0.998). Self-reported cognitive scores were higher in the no effect condition ($M = 62.23$, $SD = 11.65$) than under effect ($M = 66.06$, $SD = 13.42$) and after the dissipated effect ($M = 62.98$, $SD = 11.95$). Post-hoc comparisons with Bonferroni adjustment revealed that participants perceived their cognitive functioning as significantly worse when they were under the effects of cannabis compared to no effect ($p = .001$) and when effects dissipated ($p < .001$). However, there was no significant difference between the scores under the effect and after conditions ($p > .05$).

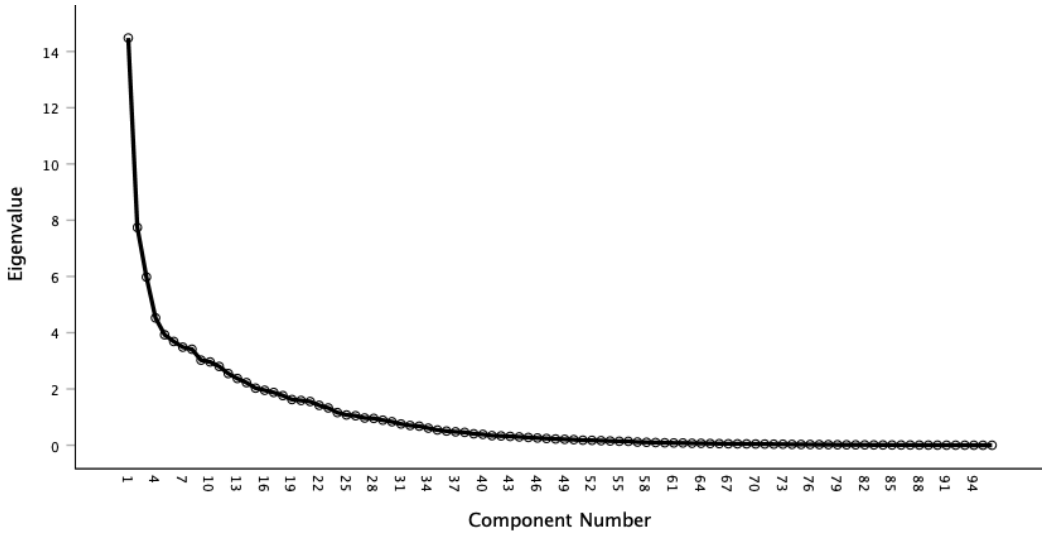
Perception of cognitive functioning

Data suitability indicators supported the use of factor analysis. The Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) measure was 0.55, indicating modest but acceptable sampling adequacy.

Bartlett's test of sphericity was significant, $\chi^2(4560) = 15{,}184.83$, $p < .001$, confirming that the correlation matrix was appropriate for factor analysis. Three factors were extracted using the maximum-likelihood method based on eigenvalues greater than 1.0 (Kaiser's criterion), accounting for 30.87% of the total variance (Factor 1 = 17.17%, Factor 2 = 7.77%, Factor 3 = 5.93%). The scree plot showed inflection points, supporting the retention of these three factors (see Figure 1).

Figure 1

Scree plot



Although a two-factor solution was also considered, the three-factor structure provided clearer interpretability and better conceptual separation across the item clusters. The rotated factor matrix (Varimax) revealed a clear three-factor structure with meaningful and distinct loadings across factors. The reproduced correlation matrix generally showed low residuals, indicating satisfactory model fit. Table 4 presents the factor loadings after the rotation.

Table 4

Summary of repeated-measures ANOVA results for the three factor scores by condition

Factor	*F*(df)	*p*	η²	Power	Significant Post-hoc Differences
Factor 1	*F*(2, 258) = 8.71	< 0.001	0.063	0.969	3 < 1*, 3 < 2*, 1 vs 2 = n.s.
Factor 2	*F*(2, 258) = 48,91	< 0.001	0.275	1.000	2 > 1*, 2 > 3*, 1 < 3*
Factor 3	*F*(2, 258) = 6.99	0.001	0.051	0.925	1 > 2*, 1, 2 vs 3 = n.s.

Note. n.s. = not significant. Asterisks (*) indicate significant pairwise comparisons at $p < .05$, Bonferonni-adjusted for multiple comparisons.

Internal consistency for each factor was acceptable, with Cronbach's $\alpha = 0.93$ for persistence, $\alpha = 0.88$ for flexibility, and $\alpha = 0.90$ for impulsivity. To examine how the participants' self-reported cognitive functioning varied across the three conditions, repeated-measures ANOVAs were conducted for each factor score. Table 3 shows pairwise comparisons between each factor and condition.

Discussion

The main objective of this study was to explore whether cannabis users' metacognitive knowledge of their cognitive functioning in everyday life differs across three conditions: no effect, acute effect, and after the effects dissipate. The findings revealed that, overall, users judged their global cognition to be more impaired during acute cannabis exposure than when sober of after the effects had dissipated. These perceptions are consistent with previous placebo-controlled studies demonstrating acute THC-induced deficits in executive function tasks (Broyd et al., 2016; Crean et al., 2011).

Another objective of this study was to more precisely explore the cognitive domains affected by cannabis. Exploratory factor analysis (EFA) grouped items that behaved similarly across the three conditions, revealing three principal dimensions: persistence, cognitive flexibility, and impulsivity. The labels of the first two factors were based on a functional approach to cognitive control, meaning that each factor may encompass multiple cognitive processes, instead of representing a single, independent function. The stability–flexibility framework posits that cognitive control operates along a continuum between stability or persistence (maintaining goals and distractor suppression) and flexibility (adapting to changing environmental demands) (Goschke, 2013; Hommel, 2015). Neurobiologically, stability is notably modulated by the mesocortical D1 dopaminergic pathway (from the ventral tegmental area (VTA) to the prefrontal cortex), whereas flexibility relies on the nigrostriatal D2 pathway (from the substantia nigra to the striatum) (Cools, 2008; Cools & D'Esposito, 2011). Many models conceptualize stability and flexibility as reciprocal ends of a unidimensional continuum: an increase in one typically accompanies a decrease in the other and vice versa.

Factor 1

The first factor, labeled "persistence," includes items showing significantly higher scores under effect and no effect compared to when the effect dissipated, reflecting poorer persistence during effect and better persistence after the effects dissipate compared to no effect. Persistence refers to the capacity to maintain and focus on current goals or representations in working memory while shielding them from distractors (Cools, 2016).

Items in this factor include difficulty in concentrating, inhibiting internal and external distractions, clumsiness, losing objects or entering a room without remembering what you came to do, and difficulty in making decisions. Motivational items (easily losing motivation and difficulty in completing tasks) reflect the persistence required to pursue an objective.

Factor 2

The second factor, "flexibility," captured significant changes across all conditions (acute > post > no effect). It reflects the ability to update representations in working memory in response to new incoming information (Cools & D'Esposito, 2011) and switch between goals or actions. Cognitive and behavioral flexibility are reflected in items regarding the ability to remember a phone number, perform calculations, prioritize a task, maintain good time perception, and the ability to stop, block, or catch an object in time reflecting the motor component of flexibility. These cognitive and behavioral actions require rapid and flexible adjustments to changing environmental contingencies.

The emergence of these two factors appears to be in concordance with a previous study showing that acute THC can affect the capacity to maintain and recall immediate information in working memory (D'Souza et al., 2008; Hunault et al., 2009; Kollins et al., 2015; McDonald et al., 2003). Moreover, acute THC has been shown to disrupt flexible rule-switching on the *Wisconsin Card Sorting Test* (WCST), leading to increased non-perseverative errors (Weinstein et al., 2008).

Factor 3

Factor 3 is labeled “impulsivity” and consists of two items (having impulsive behaviors and acting without thinking) but presents an interesting profile that distinguishes it from the other two. The results suggest that cannabis enhances impulse control rather than negatively affecting it. Specifically, participants reported feeling more impulsive in the no effect condition than the acute effects. The apparent effect of cannabis on improving impulse control can be interpreted in light of the work of De Wit (2009), who distinguished different facets of impulsivity and emphasized that impulsivity can be either a determinant or a consequence of substance use. This is reasonable, with 23% of the participants in this study reporting cannabis use to manage impulsivity. It is important to note that the items associated with impulsivity in our study reflect more decisional impulsivity and everyday choices, whereas many previous studies have focused on the inhibition of motor responses. Given that impulsivity is a multidimensional construct (McDonald et al., 2003), the current results cannot be directly compared with previous findings, because they do not correspond to the same concept.

Although a two-factor solution was initially considered, it did not clearly distinguish all the patterns of variation in the data. A three-factor structure captured the additional distinct and significant profile of Factor 3, although it had only two items. From a risk-mitigation perspective, this third factor is particularly interesting. If decisions to Drive After Cannabis Use (DACU; Beaulieu-Thibodeau et al., 2023) are influenced by subjective perceptions rather than laboratory-based results, and if users report feeling less

impulsive under cannabis influence, this might suggest a reduction in risky decision-making. These insights could help reassure the public and provide promising new directions for prevention research.

Limits

This study also had limitations regarding the impact of cannabis effects. First, owing to the nature and design of the study, some drug-related factors that may influence the effects of cannabis have not been evaluated. As the products consumed likely varied among participants, the responses obtained when the participants assessed the effects (acute or dissipated) could not be associated with a specific dosage, including the THC:CBD ratio. Cannabidiol (CBD) is another major component of cannabis that is thought to offer potential therapeutic benefits (Scuderi et al., 2009) and has THC-mitigating properties. (Freeman et al., 2019) suggested that CBD might reduce the acute effects of THC on cognitive performance. This may be the second explanation for the results obtained for impulsivity. Therefore, this compound is important for assessing its impact on cognitive function.

Second, history of use may influence the effects of cannabis and was not evaluated because the majority of participants could be categorized as regular users (85% reported using either four days per week or more). It would have been important to evaluate this pattern of use, as perception can be different from occasional users, because tolerance to

the effects of cannabis may vary between occasional and regular users (Desrosiers et al., 2015; Ramaekers et al., 2009).

Third, these results reflect consumer perception, but they are difficult to compare with laboratory studies given the heterogeneity between definitions, assessment methods, and categorization concerning concepts and variables of cognition and executive functions. Cognitive ability can be assigned to one component in one study and to another component, or even to a sub-component in another study (Baggetta & Alexander, 2016). This also applies to study items. Some items were too general and may require interpretation, which should be addressed in future research. For example, using a qualitative method during the initial administration of the questionnaire could have enabled more targeted interpretation, necessary calibration of items, and stronger mapping onto executive function constructs (Zohrabi, 2013).

Conclusion

This study represents the first examination of cannabis users' metacognitive knowledge of their cognitive and executive functioning across different states of cannabis use. Three profil of cognitive functioning were raised, notably the persistence state that revealed poorer task engagement during acute effects, the flexibility state that was worse during effects, and the impulsivity profile that indicated enhanced perceived control under acute effects. The interpretation of these self-perceptions in light of laboratory findings remains limited by the lack of standardized definitions and operationalizations across

studies as well as individual variability in cannabis consumption and its effects. These findings highlight the relevance of integrating metacognitive frameworks as an additional approach in cannabis research with individual characteristics to better capture the impact of cannabis on cognitive functioning.

References

Arkell, T. R., Lintzeris, N., Kevin, R. C., Ramaekers, J. G., Vandrey, R., Irwin, C., Haber, P. S., & McGregor, I. S. (2019). Cannabidiol (CBD) content in vaporized cannabis does not prevent tetrahydrocannabinol (THC)-induced impairment of driving and cognition. *Psychopharmacology*, *236*(9), 2713-2724. https://doi.org/10.1007/s00213-019-05246-8

Baggetta, P., & Alexander, P. A. (2016). Conceptualization and operationalization of executive function. *Mind, Brain, and Education*, *10*(1), 10-33. https://doi.org/10.1111/mbe.12100

Barkley, R. A. (2012). *Barkley Deficits in Executive Functioning Scale--Children and Adolescents (BDEFS-CA)*. Guilford Press.

Beaulieu-Thibodeau, A., Huỳnh, C., Fallu, J.-S., & Wang, Y. F. (2023). Motives for driving after cannabis use: A scoping review. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *99*, 149-166. https://doi.org/10.1016/j.trf.2023.10.012

Broyd, S. J., van Hell, H. H., Beale, C., Yuecel, M., & Solowij, N. (2016). Acute and chronic effects of cannabinoids on human cognition – A systematic review. *Biological Psychiatry*, *79*(7), 557-567. https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2015.12.002

Burgess, P. W., Alderman, N., Evans, J., Emslie, H., & Wilson, B. A. (1998). The ecological validity of tests of executive function. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *4*(6), 547-558. https://doi.org/10.1017/S1355617798466037

Chan, R. C., Shum, D., Toulopoulou, T., & Chen, E. Y. (2008). Assessment of executive functions: Review of instruments and identification of critical issues. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *23*(2), 201-216. https://doi.org/10.1016/j.acn.2007.08.010

Cools, R. (2008). Role of dopamine in the motivational and cognitive control of behavior. *The Neuroscientist*, *14*(4), 381-395. https://doi.org/10.1177/1073858408317009

Cools, R. (2016). The costs and benefits of brain dopamine for cognitive control. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, *7*(5), 317-329. https://doi.org/10.1002/wcs.1401

Cools, R., & D'Esposito, M. (2011). Inverted-U–shaped dopamine actions on human working memory and cognitive control. *Biological Psychiatry, 69*(12), e113-e125. https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2011.03.028

Crean, R. D., Crane, N. A., & Mason, B. J. (2011). An evidence-based review of acute and long-term effects of cannabis use on executive cognitive functions. *Journal of Addiction Medicine*, *5*(1), 1-8. https://doi.org/10.1097/ADM.0b013e31820c23fa

D'Souza, D. C., Perry, E., MacDougall, L., Ammerman, Y., Cooper, T., Wu, Y.-t., Braley, G., Gueorguieva, R., & Krystal, J. H. (2004). The psychotomimetic effects of intravenous Delta-9-Tetrahydrocannabinol in healthy individuals: Implications for psychosis. *Neuropsychopharmacology*, *29*(8), 1558-1572. https://doi.org/10.1038/sj.npp.1300496

D'Souza, D. C., Ranganathan, M., Braley, G., Gueorguieva, R., Zimolo, Z., Cooper, T., Perry, E., & Krystal, J. (2008). Blunted psychotomimetic and amnestic effects of delta-9-tetrahydrocannabinol in frequent users of cannabis. *Neuropsychopharmacology*, *33*(10), 2505-2516. https://doi.org/10.1038/sj.npp.1301643

De Wit, H. (2009). Impulsivity as a determinant and consequence of drug use: A review of underlying processes. *Addiction Biology, 14*(1), 22-31. https://doi.org/10.1111/j.1369-1600.2008.00129.x

Desrosiers, N. A., Ramaekers, J. G., Chauchard, E., Gorelick, D. A., & Huestis, M. A. (2015). Smoked cannabis' psychomotor and neurocognitive effects in occasional and frequent smokers. *Journal of Analytical Toxicology, 39*(4), 251-261. https://doi.org/10.1093/jat/bkv012

Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, *64*(1), 135-168. https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750

Efklides, A. (2006). Metacognition and affect: What can metacognitive experiences tell us about the learning process? *Educational Research Review*, *1*(1), 3-14. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2005.11.001

Egner, T. (2017). *The Wiley handbook of cognitive control*. John Wiley & Sons Ltd. https://doi.org/10.1002/9781118920497

Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive-developmental inquiry. *American Psychologist*, *34*(10), 906-911. https://doi.org/10.1037/0003-066X.34.10.906

Freeman, A. M., Petrilli, K., Lees, R., Hindocha, C., Mokrysz, C., Curran, H. V., Saunders, R., & Freeman, T. P. (2019). How does cannabidiol (CBD) influence the acute effects of delta-9-tetrahydrocannabinol (THC) in humans? A systematic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *107*, 696-712. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.09.036

Gioia, G. A., Isquith, P, K., Guy, S. C., & Kenworthy, L. (2000). Behavior Rating Inventory of Executive Function: BRIEF. *Child Neuropsychology, 6*, 235-238.

Goschke, T. (2013). Volition in action: Intentions, control dilemmas, and the dynamic regulation of cognitive control. In W. Prinz, M. Eisert, & A. Herwig (Eds.), *Action science: Foundations of an Emerging Discipline* (pp. 409-434). The MIT Press. https://doi.org/10.7551/mitpress/9780262018555.001.0001

Griffith-Lendering, M. F., Huijbregts, S. C., Vollebergh, W. A., & Swaab, H. (2012). Motivational and cognitive inhibitory control in recreational cannabis users. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 34*(7), 688-697. https://doi.org/10.1080/13803395.2012.668874

Gruber, S. A., Silveri, M. M., Dahlgren, M. K., & Yurgelun-Todd, D. (2011). Why so impulsive? White matter alterations are associated with impulsivity in chronic marijuana smokers. *Experimental and Clinical Psychopharmacology*, *19*(3), 231-242. https://doi.org/10.1037/a0023034

Hart, C. L., van Gorp, W., Haney, M., Foltin, R. W., & Fischman, M. W. (2001). Effects of acute smoked marijuana on complex cognitive performance. *Neuropsychopharmacology: Official Publication of the American College of Neuropsychopharmacology, 25*(5), 757-765. https://doi.org/10.1016/S0893-133X(01)00273-1

Hommel, B. (2015). Between persistence and flexibility: The Yin and Yang of action control. In A. J. Elliot (Ed.), *Advances in motivation science* (Vol. 2, pp. 33-67). Elsevier. https://doi.org/10.1016/bs.adms.2015.04.003

Hunault, C. C., Mensinga, T. T., Böcker, K. B., Schipper, C. M. A., Kruidenier, M., Leenders, M. E., de Vries, I., & Meulenbelt, J. (2009). Cognitive and psychomotor effects in males after smoking a combination of tobacco and cannabis containing up to 69 mg delta-9-tetrahydrocannabinol (THC). *Psychopharmacology, 204*, 85-94. https://doi.org/10.1007/s00213-008-1440-0

Kollins, S. H., Schoenfelder, E. N., English, J. S., Holdaway, A., van Voorhees, E., O'Brien, B. R., Dew, R., & Chrisman, A. K. (2015, Jan). An exploratory study of the combined effects of orally administered methylphenidate and delta-9-tetrahydrocannabinol (THC) on cardiovascular function, subjective effects, and performance in healthy adults. *Journal of Substance Abuse Treatment, 48*(1), 96-103. https://doi.org/10.1016/j.jsat.2014.07.014

McDonald, J., Schleifer, L., Richards, J. B., & de Wit, H. (2003). Effects of THC on behavioral measures of impulsivity in humans. *Neuropsychopharmacology, 28*(7), 1356-1365. https://doi.org/10.1038/sj.npp.1300176

Metrik, J., Kahler, C. W., Reynolds, B., McGeary, J. E., Monti, P. M., Haney, M., de Wit, H., & Rohsenow, D. J. (2012). Balanced placebo design with marijuana: Pharmacological and expectancy effects on impulsivity and risk taking. *Psychopharmacology (Berl)*, *223*(4), 489-499. https://doi.org/10.1007/s00213-012-2740-y

Mokrysz, C., Freeman, T. P., Korkki, S., Griffiths, K., & Curran, H. V. (2016, Nov 29). Are adolescents more vulnerable to the harmful effects of cannabis than adults? A placebo-controlled study in human males. *Transl Psychiatry, 6*(11), 1-10. https://doi.org/10.1038/tp.2016.225

Moreno, M., Estevez, A. F., Zaldivar, F., Montes, J. M. G., Gutiérrez-Ferre, V. E., Esteban, L., Sánchez-Santed, F., & Flores, P. (2012). Impulsivity differences in recreational cannabis users and binge drinkers in a university population. *Drug and Alcohol Dependence*, *124*(3), 355-362. https://doi.org/10.1016/j.drugalcdep.2012.02.011

Nelson, T. O. (1990). Metamemory: A theoretical framework and new findings. In G. H. Bower (Ed.), *Psychology of learning and motivation* (vol. 26, pp. 125-173). Elsevier. https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60053-5

Patton, J. H., Stanford, M. S., & Barratt, E. S. (1995). Factor structure of the Barratt Impulsiveness Scale. *Journal of Clinical Psychology*, *51*(6), 768-774. https://doi.org/10.1002/1097-4679(199511)51:6<768::AID-JCLP2270510607>3.0.CO;2-1

Ramaekers, J. G., Kauert, G., Theunissen, E. L., Toennes, S. W., & Moeller, M. R. (2009). Neurocognitive performance during acute THC intoxication in heavy and occasional cannabis users. *Journal of Psychopharmacology*, *23*(3), 266-277. https://doi.org/10.1177/0269881108092393

Ramaekers, J. G., Kauert, G., van Ruitenbeek, P., Theunissen, E. L., Schneider, E., & Moeller, M. R. (2006). High-potency marijuana impairs executive function and inhibitory motor control. *Neuropsychopharmacology*, *31*(10), 2296-2303. https://doi.org/10.1038/sj.npp.1301068

Ramaekers, J. G., Mason, N. L., Kloft, L., & Theunissen, E. L. (2021). The why behind the high: Determinants of neurocognition during acute cannabis exposure. *Nature Reviews. Neuroscience*, *22*(7), 439-454. https://doi.org/10.1038/s41583-021-00466-4

Ramaekers, J. G., van Wel, J., Spronk, D., Toennes, S., Kuypers, K., Theunissen, E., & Verkes, R.-J. (2016). Cannabis and tolerance: Acute drug impairment as a function of cannabis use history. *Scientific Reports*, *6*(1), 1-9. https://doi.org/10.1038/srep26843

Roth, R. M., Isquith, P. K., & Gioia, G. A. (2005). *Behavior Rating Inventory of Executive Function®--Adult Version (BRIEF-A).* [Database record]. APA PsycTests. https://doi.org/10.1037/t86244-000

Schafer, J., & Brown, S. A. (1991). Marijuana and cocaine effect expectancies and drug use patterns. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, *59*(4), 558-565. https://doi.org/10.1037/0022-006X.59.4.558

Scuderi, C., Filippis, D. D., Iuvone, T., Blasio, A., Steardo, A., & Esposito, G. (2009). Cannabidiol in medicine: A review of its therapeutic potential in CNS disorders. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives, 23*(5), 597-602. https://doi.org/10.1002/ptr.2625

Sewell, R. A., Schnakenberg, A., Elander, J., Radhakrishnan, R., Williams, A., Skosnik, P. D., Pittman, B., Ranganathan, M., & D'Souza, D. C. (2013). Acute effects of THC on time perception in frequent and infrequent cannabis users. *Psychopharmacology*, *226*(2), 401-413. https://doi.org/10.1007/s00213-012-2915-6

Shaw, S., Oei, T. P., & Sawang, S. (2015). Psychometric validation of the Dysexecutive Questionnaire (DEX). *Psychological Assessment*, *27*(1), 138-147. https://doi.org/10.1037/a0038195

van Wel, J., Kuypers, K., Theunissen, E., Toennes, S., Spronk, D., Verkes, R., & Ramaekers, J. (2013). Single doses of THC and cocaine decrease proficiency of impulse control in heavy cannabis users. *British Journal of Pharmacology*, *170*(7), 1410-1420. https://doi.org/10.1111/bph.12425

Vial, M. (2013). *Questionnaire de plainte exécutive : validation préliminaire chez les patients parkinsoniens au stade de la maladie installée* [Mémoire]. Université Paris VI Pierre et Marie Curie, France. https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00868622v1

Wallace, J. C., Kass, S. J., & Stanny, C. J. (2002). The cognitive failures questionnaire revisited: Dimensions and correlates. *The Journal of general psychology*, *129*(3), 238-256. https://doi.org/10.1080/00221300209602098

Weinstein, A., Brickner, O., Lerman, H., Greemland, M., Bloch, M., Lester, H., Chisin, R., Sarne, Y., Mechoulam, R., & Bar-Hamburger, R. (2008). A study investigating the acute dose—response effects of 13 mg and 17 mg Δ 9-tetrahydrocannabinol on cognitive—motor skills, subjective and autonomic measures in regular users of marijuana. *Journal of Psychopharmacology*, *22*(4), 441-451. https://doi.org/10.1177/0269881108088194

Young, R., & Kavanagh, D. (1997). *The Cannabis Expectancy Questionnaire (CEQ).* The University of Queensland.

Zohrabi, M. (2013). Mixed method research: Instruments, validity, reliability and reporting findings. *Theory and Practice in Language Studies*, *3*(2), 254-262. https://doi.org/10.4304/tpls.3.2.254-262

Supplemental material

Items in French (original) / English (liberal translation for readers)

Following are the 32 questions participants answered. For each question, they provided an answer for each of the conditions (before, acute, post). Existing Tools used for the current questionnaire:

- T1: BRIEF-A (Roth et al., 2005)
- T2: BDEFS
- T3: MEEQ (Schafer & Brown, 1991)
- T4 : CFQ (Wallace et al., 2002)
- T5 : DEX (Shaw et al., 2015)
- T6 : CEQ (Young & Kavanagh, 1997)
- T7 : Questionnaire de plainte exécutive (QPE; Vial, 2013)
- T8 : BIS (Patton et al., 1995)

Items from these tools, where appropriate, will be flagged with their question number in the questionnaire we created.

(1) Avez-vous de la difficulté à vous concentrer? / Do you have difficulty concentrating? (T1Q4), (T6Q37), (T8Q9)

(2) Pouvez-vous porter attention à plus d'une chose en même temps? (p. ex., faire 2 tâches en même / Can you pay attention to more than one thing at a time? (For example, doing 2 tasks simultaneously) (T1Q2)

(3) Êtes-vous facilement distrait-e par votre environnement? (p. ex., bruits, gens qui parlent autour de vous, etc.) / Are you easily distracted by your environment? (For example, noises, people talking around you, etc.) (T2Q39), (T5Q18), (T6Q26)

(4) Êtes-vous facilement distrait-e par vous-même? (p. ex., par vos pensées, émotions, stress) / Are you easily distracted by yourself? (For example, by your thoughts, emotions, stress) (T2Q39), (T5Q18), (T6Q26)

(5) Tombez-vous facilement dans la lune? / Easily have my head in the cloud?

(6) Êtes-vous capable de maintenir votre attention durant un long moment (ou une longue période)? / Are you able to maintain your attention for a long time (or a long period)? (T5Q8)

(7) Perdez-vous des choses? (p. ex., clé, téléphone, etc.) / Do you lose things? (For example, keys, phone, etc.) (T1Q31), (T4Q24)

(8) Vous arrive-t-il d'oublier ce que vous étiez en train de faire? (p. ex., entrer dans une pièce sans plus savoir ce que je venais y faire) / Do you ever forget what you were doing? (For example, entering a room without remembering what you came to do) (T4Q2)

(9) Êtes-vous capable de répéter tout de suite après, un numéro de téléphone au complet qu'on vient de vous dire qu'une fois? / Are you able to immediately repeat a complete phone number that you've just been told once? (T7Q16)

(10) Lorsque vous lisez, devez-vous relire plusieurs fois la même phrase? / When you read, do you have to reread the same sentence multiple times? (T4Q1)

(11) Trouvez-vous difficile de devoir passer d'une activité à une autre lorsque vous êtes interrompu? (p. ex., faire une tâche et répondre immédiatement au téléphone) / Do you find it difficult to switch from one activity to another when interrupted? (For example, doing a task and immediately answering the phone) (T1Q8), (T7Q15)

(12) Êtes-vous maladroit-e? (p. ex., échapper quelque chose que vous transportez) / Are you clumsy? (For example, dropping something you're carrying)

(13) Est-ce que vos gestes vous semblent lents? / Do your movements seem slow to you?

(14) Perdez-vous votre motivation facilement? / Do you lose your motivation easily? (T6Q14)

(15) Avez-vous de la difficulté à terminer une tâche qui ne vous intéresse pas? (p. ex., lavage, vaisselle, etc.) / Do you have difficulty finishing a task that doesn't interest you? (For example, laundry, dishes, etc.) (T2 Self-motivation scale)

(16) Votre motivation à faire une tâche augmente-t-elle lorsque vous obtenez une récompense? / Does your motivation to do a task increase when you get a reward? (T2 Self-motivation scale)

(17) Considérez-vous votre vitesse à effectuer des tâches mentales comme rapides? (p. ex., calcul mental, apprendre, etc.) / Do you consider your speed in performing mental tasks as fast? (For example, mental calculation, learning, etc.)

(18) Êtes-vous une personne organisée? / Are you an organized person? (T1Q3)

(19) Planifiez-vous avant d'effectuer une tâche à faire? / Do you plan before performing a task? (T1Q63), (T2Q6), (T8Q1)

(20) Avez-vous de la difficulté à définir l'ordre de priorité des actions d'une tâche? / Do you have difficulty defining the order of priority for actions in a task? (T1Q15), (T2Q20)

(21) Êtes-vous habile à arrêter, bloquer ou attraper un objet juste à temps? (p. ex., au hockey, soccer, attraper un objet avant qu'il tombe) / Are you skilled at stopping, blocking, or catching an object just in time? (For example, in hockey, soccer, catching an object before it falls) (T3Q46)

(22) Croyez-vous que vous ayez une bonne perception du temps? (p. ex., temps requis pour accomplir une tâche) / Do you believe you have a good perception of time? (For example, time required to accomplish a task) (T2Q2), (T3Q43)

(23) Je fais attention à l'impact de mes actions sur les sentiments des autres? (p. ex., faire attention à ce que je dis pour ne pas blesser l'autre personne) / I pay attention to the impact of my actions on others' feelings? (For example, being careful about what I say to avoid hurting the other person)

(24) Je prête attention à mes sentiments. / I pay attention to my feelings.

(25) Vous arrive-t-il d'agir sans réfléchir et faire la première chose qui vous passe par la tête? (p. ex., agir sur un « coup de tête ») / Do you ever act without thinking and do the first thing that comes to mind? (For example, acting on impulse) (T2Q54), (T8Q2)

(26) Avez-vous des comportements impulsifs? (p. ex., dépensier) / Do you have impulsive behaviors? (For example, overspending) (T1Q73), (T8Q23)

(27) Avez-vous de la difficulté à trouver des solutions aux problèmes? (p. ex., au travail, famille, ou lors d'une tâche) / Do you have difficulty finding solutions to problems? (For example, at work, family, or during a task) (T1Q67)

(28) Procédez-vous par essais et erreurs lors de résolution de problème? / Do you proceed by trial and error when solving problems?

(29) Participez-vous à des jeux de gambling? (p. ex., jeu de hasard ou d'adresse dans lequel vous misez quelque chose de valeur qui peut potentiellement vous permettre de gagner un prix) / Do you participate in gambling games? (For example, games of chance or skill where you bet something of value that can potentially allow you to win a prize)

(30) Prenez-vous des risques? (p. ex., activités de sensation fortes) / Do you take risks? (For example, thrill-seeking activities)

(31) Avez-vous du mal à prendre une décision? / Do you have trouble making decisions? (T5Q19)

(32) Évaluez-vous les avantages et inconvénients des différents choix possibles lorsque vous devez prendre une décision? / Do you evaluate the advantages and disadvantages of different possible choices when you have to make a decision? (T2Q26-54).

Discussion générale

De nombreuses études sur les effets objectifs aigus du cannabis soulèvent les altérations sur la cognition et la conduite, mais est-ce que les consommatrices et consommateurs ressentent ces mêmes effets? Cet indice subjectif ne devrait pas être négligé, puisque certaines études suggèrent qu'il peut contribuer à la décision de conduire après consommation, notamment dans les contextes du cannabis et de l'alcool (Borodovsky et al., 2020; Ouimet et al., 2020).

L'objectif général de cette thèse était donc d'explorer les phénomènes métacognitifs dans deux articles scientifiques. Une revue systématique a offert une première synthèse quantitative des écarts entre les expériences métacognitives et la performance objective au niveau de la cognition et de la conduite. La deuxième étude a documenté les différences dans les connaissances métacognitives déclaratives des consommatrices et consommateurs de cannabis qui étaient à jeun au moment de répondre au questionnaire, concernant leur fonctionnement cognitif entre trois états : sans cannabis ou à jeun, sous l'effet du cannabis, et après la dissipation des effets.

L'article 1 s'est intéressé à l'alignement entre les expériences métacognitives et la performance associée aux effets du THC sur les études ayant des mesures objectives et subjectives. Les analyses entre le type de mesure (subjective ou objective) et le type d'effet observé (positif, négatif, ou aucun effet) ont permis d'obtenir un portrait global de leurs

relations. Les résultats suggèrent une correspondance entre les mesures subjectives et objectives, tant pour la cognition que la conduite. Les personnes qui consomment du cannabis rapportent plus fréquemment des effets négatifs que ce qu'indiquent leurs performances aux tests. La perception d'altération négative va donc dans le même sens que ce que montrent les méta-analyses et revues systématiques sur la cognition (Bourque & Potvin, 2021; Broyd et al., 2016; Dellazizzo et al., 2022; McCartney et al., 2021; Oomen et al., 2018; Zhornitsky et al., 2021) et la conduite (Love et al., 2023). L'alignement est plus prononcé pour la conduite que pour la cognition. En effet, la cognition comporte une grande variété de tâches et de variables comparées à la conduite. L'hétérogénéité dans les tests cognitifs utilisés est également observée par des méta-analyses et revues systématiques sur les effets du cannabis (Broyd et al., 2016; Oomen et al., 2018; Zhornitsky et al., 2021).

Le niveau d'abstraction de chaque construit est également un facteur potentiel influençant cette différence d'alignement entre les domaines objectifs et subjectifs. La conduite constitue un comportement concret et directement observable, comme maintenir un véhicule dans sa voie et contrôler sa vitesse; ces comportements sont tangibles et facilement regroupés sous des jugements spécifiques, comme la « confiance de conduite ». Les fonctions cognitives, telles que l'attention et la mémoire de travail ne sont qu'observables indirectement par les tests neuropsychologiques et les tâches en laboratoire. Les phénomènes cognitifs sont donc plus abstraits par rapport à la conduite et

peuvent amener une plus grande possibilité d'interprétation qui pourrait expliquer en partie la moins bonne concordance entre la subjectivité et l'objectivité.

Généralement, les études en laboratoire portaient principalement sur l'évaluation objective, accompagnée de variables subjectives secondaires utilisées plus à titre descriptif qu'à des fins d'analyses. L'article 2 s'est concentré spécifiquement sur la perspective métacognitive. Les effets ressentis ont été comparés entre les trois états (sans cannabis ou à jeun, sous l'effet et après la dissipation des effets) afin d'examiner si les personnes qui consomment du cannabis et qui étaient à jeun au moment de répondre au questionnaire percevaient des différences et si elles se produisaient dans des domaines cognitifs spécifiques. Les résultats suggèrent que ces personnes percevaient leur fonctionnement cognitif global moins bon dans l'état sous l'effet du cannabis, comparé à l'état à jeun et l'état après la dissipation des effets, et trois facteurs ont émergé des items du questionnaire.

Le premier facteur, étiqueté « persistance », inclut des items pouvant refléter le maintien d'information en mémoire de travail, le focus attentionnel, la motivation et la prise de décision. Les scores de persistance perçue étaient significativement plus élevés dans l'état sous l'effet comparativement à l'état à jeun et était plus faible dans l'état après cannabis que l'état à jeun. Un score plus élevé est associé à plus de difficulté perçue.

Le deuxième facteur, nommé « flexibilité », regroupe des items pouvant être rattachés à la mémoire de travail, l'inhibition motrice et la perception du temps. Les différences étaient significatives entre chacun des trois états. Les résultats du facteur indiquent des scores de flexibilité perçue plus élevé dans l'état sous l'effet, par rapport à l'état à jeun et dans l'état après cannabis, et les scores étaient plus faibles dans l'état à jeun comparativement à l'état après cannabis.

Le troisième facteur, étiqueté « impulsivité », regroupe 2 items, dont l'un porte sur les comportements impulsifs et l'autre sur le fait d'agir sans réfléchir ou sur un coup de tête. Les résultats du facteur diffèrent des observations objectives en suggérant une impulsivité perçue plus faible dans l'état sous l'effet comparativement à l'état à jeun. Compte tenu du large éventail de tâches présumées pour mesurer l'impulsivité dans la littérature et de l'aspect multi-dimensionnel du construit, il demeure complexe de déterminer à quelle dimension de l'impulsivité font référence les items du questionnaire. Ces résultats sont intéressants et méritent d'être examinés dans des études futures.

L'article 2 a permis d'apporter de nouvelles connaissances concernant la variation des effets perçus du cannabis sur la cognition. Les résultats indiquent des différences entre les trois états pour chaque facteur, ce qui suggère que les effets cognitifs perçus pourraient se manifester différemment selon les dimensions évaluées. Bien qu'une solution à deux facteurs ait été initialement envisagée, celle-ci ne permettait pas de distinguer clairement tous les schémas de variation des données. Une structure à trois facteurs a permis de faire

ressortir le facteur d'impulsivité, et ce, même s'il ne comporte que 2 items. Des travaux futurs devraient viser à faire un suivi test-retest afin de valider le questionnaire et voir si la même structure est dégagée.

Discuter des résultats avec la littérature demeure complexe. Parmi les trois états évalués, les états sans cannabis et sous effet présentent une certaine comparabilité avec les résultats objectifs existants avec le facteur flexibilité (Broyd et al., 2016; Crean et al., 2011), tandis que pour l'état après la dissipation des effets, peu d'études ont examiné les effets au-delà de 5-6h. Il est plutôt inféré de manière indirecte, à partir de la réduction progressive des altérations dans le temps. Une méta-analyse propose que la plupart des fonctions cognitives retrouvent leur état normal entre 5 et 7h (McCartney et al., 2021). Il n'y a donc pas de seuil précis et cette analyse concerne l'inhalation, alors que les effets peuvent être prolongés pour une administration comme l'ingestion. En effet, une personne peut se sentir « normale » relativement à son état durant la phase aiguë, sans pour autant avoir atteint son état à jeun, et ainsi affecter sa CACC.

Ces divergences par rapport à la littérature peuvent être interprétées en fonction de la variabilité des niveaux de neurotransmission de base, qui modulent l'effet du cannabis sur la performance cognitive. Comme le suggère le modèle en U-inversé de la dopamine, un niveau trop faible ou trop élevé est associé à une performance réduite, tandis qu'un niveau intermédiaire correspond à un fonctionnement optimal (Cools & D'Esposito, 2011). Donc, l'idée serait que selon le niveau de base de la dopamine, la région impliquée et le processus

évalué, la stimulation dopaminergique induite par le cannabis pourrait par exemple, induire des effets bénéfiques comme pour les facteurs de persistance et d'impulsivité et défavorables comme pour le facteur de flexibilité.

Alignement entre mesures subjectives et objectives : un défi conceptuel et méthodologique

L'alignement entre les mesures subjectives et objectives représente un indicateur important pour examiner si les consommatrices et consommateurs de cannabis évaluent adéquatement leurs capacités et limites cognitives et de conduite. Toutefois, les deux articles soulignent qu'il est difficile de l'établir dans l'état actuel des connaissances.

Ensemble, les deux études de cette thèse soulignent la problématique commune dans le domaine du cannabis, de l'hétérogénéité conceptuelle et méthodologique entourant le concept même de « cognition ». Tout d'abord, cette hétérogénéité se retrouve dans un contexte plus large en psychologie cognitive. Le concept de l'attention en est un exemple qui comporte une grande diversité de définitions qui le caractérise et recouvre une large gamme de processus (Di Lollo, 2018; Hommel, 2015). Dans le domaine du cannabis, cette diversité peut se répercuter sur la façon dont les fonctions cognitives sont étiquetées et mesurées dans les tâches et questionnaires, par exemple avec des erreurs de type *jingle/jangle*. Ces erreurs surviennent si un même nom est attribué à des phénomènes ou fonctions différentes (*jingle fallacy*), tandis que les erreurs de type *jangle fallacy* se produisent lorsqu'une même fonction est désignée par des termes différents (Hanfstingl et al., 2024). L'absence de consensus dans la définition et l'opérationnalisation des

concepts complique la conception des outils de mesure et l'interprétation de leurs résultats.

L'hétérogénéité devient évidente lorsque des tâches sont catégorisées sous des domaines cognitifs distincts entre les méta-analyses et revues systématiques et lorsqu'une tâche elle-même est étiquetée d'une fonction cognitive différente d'une étude à l'autre. Par exemple, la tâche DAT peut être catégorisée sous l'inhibition ou selon l'attention divisée selon les travaux examinés (Broyd et al., 2016; Dellazizzo et al., 2022; McCartney et al., 2021; Oomen et al., 2018). Toutefois, certains auteurs regroupent les FE en trois dimensions (inhibition, mémoire de travail et raisonnement/association) en citant des modèles théoriques des FE (Chan et al., 2008; Diamond, 2013). L'hétérogénéité peut aussi découler du problème d'impureté des tâches qui ne solliciteraient pas uniquement qu'une seule FE, mais impliqueraient plusieurs processus cognitifs (Miyake et al., 2000).

Les erreurs *jingle/jangles* rendent difficile la classification des items lors de l'élaboration de questionnaire. Bien que la mémoire de travail et l'attention soutenue puissent être conceptualisées comme des entités distinctes, le questionnaire BRIEF-A intègre des items relevant des processus d'attention soutenue dans l'échelle de mémoire de travail. Cette catégorisation a complexifié l'élaboration du questionnaire de l'article 2 dans lequel l'objectif était de couvrir l'ensemble des fonctions cognitives pertinentes.

Le manque de définition des processus cognitifs dans les questionnaires renforce le problème. Par exemple, les termes « concentration » ou « attention », comme dans les échelles visuelles analogues, sont simples d'utilisation; mais sans définition, elles sont générales et peuvent être interprétées différemment selon l'expérience, la compréhension de l'item ou du contexte. L'attention pourrait signifier la capacité à se focaliser pour une personne ou la capacité à résister aux distractions pour une autre. Ces situations regroupées sous un terme général sont des dimensions distinctes dans la littérature scientifique. Ce type de formulation générale peut aussi avoir influencé certains résultats de l'article 2 dû à des items formulés de manière générale et leur inclusion dans un facteur lors de l'analyse factorielle. Il est possible que certaines questions aient été mal comprises, jugées hors contexte ou interprétées de façons différentes. Une formulation plus précise ou la clarification des concepts mesurés aurait peut-être permis de réduire cette incertitude et de favoriser l'homogénéité dans les réponses obtenues.

Les étiquettes attribuées aux deux premiers facteurs extraits dans l'article 2 ont été choisies selon la théorie stabilité-flexibilité, et non pas seulement basées que sur les modèles classiques des FE (Diamond, 2013; Miyake et al., 2000). Ce choix s'appuie sur la structure particulière des données dans laquelle plusieurs sous-dimensions semblaient se regrouper. L'approche stabilité-flexibilité, offrait une meilleure correspondance avec les items des facteurs observés. Ainsi, le recours à la théorie stabilité-flexibilité constitue un exemple concret des choix conceptuels auxquels sont confrontés les chercheurs, et de leur impact sur la manière d'interpréter les mesures subjectives et objectives.

La variabilité dans l'interprétation des concepts cognitifs, entre autres dans leur opérationnalisation par les équipes de recherche et dans leur compréhension par les participantes et participants, peut s'additionner et contribuer à accroitre l'hétérogénéité des données subjectives, ce qui complique davantage l'alignement entre perception et performance. Les articles de cette thèse contribuent à clarifier un champ de recherche marqué par une grande hétérogénéité conceptuelle et méthodologique, en identifiant les principales approches utilisées pour évaluer les effets du cannabis sur la cognition et la conduite, ainsi que les types de jugements subjectifs.

Limites

Certaines limites doivent être considérées dans l'interprétation des résultats de cette thèse. Elles concernent à la fois la revue systématique dans l'article 1 et l'étude par questionnaire dans l'article 2.

Dans l'article 1, l'alignement doit être interprété avec prudence. L'ensemble des données pour chaque type de mesure (objectif, subjectif) ont été regroupées par domaine (cognition, conduite), sans qu'il soit possible de relier directement la perception à la performance réelle. Cette approche ne permet pas d'examiner les relations intra-sujets, c'est-à-dire la correspondance entre les jugements subjectifs et les performances objectives d'une même personne, car les observations reflètent des tendances générales entre études plutôt que la précision métacognitive. Il s'agit d'une limite importante étant

donné que la question générale de la thèse concerne la capacité des consommatrices et consommateurs à être de « bons juges » de leur propre état.

L'article 2 comporte certaines limitations. Tout d'abord, le questionnaire a été conçu spécifiquement pour cette étude, basé à partir d'items de questionnaires existants qui ont été traduit en français par les auteurs. Cette démarche ne s'est toutefois pas accompagnée d'une procédure de traduction standardisée avec une traduction inversée, ni d'une validation psychométrique formelle (analyse factorielle confirmatoire, validité de construit), telles que recommandées dans les étapes de développement d'instruments de mesures (Boateng et al., 2018). Par exemple, la compréhension du concept de dissipation des effets pourrait varier d'une personne à l'autre, ce qui pourrait ajouter du bruit dans les mesures. Ensuite, les réponses ont pu être influencées par divers biais de la mémoire comme les distorsions rétrospectives provenant des connaissances, croyances et émotions actuelles (Schacter, 2022). Comme le cannabis est encore un sujet à débat et à préjugés, le biais de la désirabilité sociale peut avoir entrainé une minimisation des effets négatifs ou une exagération des bénéfices perçus (Althubaiti, 2016). Il est important en revanche de considérer ces biais directement dans les travaux futurs, dans la mesure où ces mêmes biais pourraient contribuer aux décisions de CACC dans la vie courante des personnes qui consomment.

La collecte des données de l'article 2 s'est déroulée durant la période de pandémie de COVID-19, un contexte susceptible d'avoir eu un impact sur la santé mentale et les

perceptions subjectives des participantes et participants (Prati & Mancini, 2021; Vindegaard & Benros, 2020), indépendamment de leur consommation de cannabis. De sorte, une réplication de ce travail en dehors de ce contexte particulier serait souhaitable, en intégrant les modifications proposées en relation aux limites identifiées.

D'autres limitations méthodologiques concernent la variabilité liée au type de produit de cannabis consommé, à la dose administrée et au mode de consommation, de même que l'historique de consommation. Ces paramètres, peu ou pas pris en compte dans les articles de cette thèse, influencent la durée et l'intensité des effets du cannabis. Les effets du THC sur le fonctionnement neurocognitif sont dose-dépendants. De nombreuses études montrent que la magnitude des altérations cognitives et des effets augmente graduellement selon la dose (Hunault et al., 2009; Ramaekers et al., 2006). Tenir compte de la dose et du mode d'administration dans la revue systématique aurait contribué à déterminer si certaines conditions de consommation favorisent un meilleur alignement entre perception et performance, ces analyses n'ont pu être effectuées dû à l'hétérogénéité de ces paramètres entre les études. Dans l'article 2, l'absence d'informations sur le produit consommé a restreint l'interprétation aux différences métacognitives.

Fréquence de consommation et tolérance

La fréquence de consommation et la tolérance sont d'autres facteurs importants à considérer. La tolérance est un phénomène pharmacologique correspondant à une diminution progressive de la réponse à une substance après une exposition répétée

(Ramaekers et al., 2021). Plusieurs travaux indiquent que les effets aigus du THC sur la cognition sont plus marqués chez les personnes qui consomment du cannabis de façon occasionnelle que chez celles qui en consomment fréquemment, ce qui suggère le développement d'une tolérance liée à cette dernière. Ce facteur semble donc contribuer à la variabilité interindividuelle observée dans les études et il serait important d'en faire l'inclusion dans les travaux à venir.

Dans l'article 1, seuls les résultats sur le THC ont été pris en compte, sans distinction selon la fréquence de consommation. Cette limite restreint l'interprétation, car les effets rapportés peuvent différer entre une personne qui consomme du cannabis occasionnellement et une qui en consomme fréquemment. Dans l'article 2, ne pas distinguer la fréquence de consommation empêche d'examiner si les différences subjectives observées entre les états reflètent les variations intra-individuelles liées au moment de consommation, ou des différences interindividuelles liées au niveau de tolérance.

Malgré ces limites, les résultats des deux articles de la thèse soulignent que la perception peut varier selon les domaines évalués, les états de consommation et les caractéristiques individuelles, et ce, malgré les sources de bruit potentielles introduites par la méthode, les mesures et le contexte. Donc, l'apport d'une perspective subjective invite à considérer l'intégration de des connaissances et expériences métacognitives dans l'évaluation des effets du cannabis.

De la perception à la décision

Dans une perspective métacognitive, le monitoring et le contrôle métacognitif peuvent jouer des rôles importants dans les processus de décision (Nelson, 1990). Dans cette thèse, l'accent a été mis sur le monitoring métacognitif, qui permet d'évaluer son état, de détecter un changement, tandis que le contrôle est l'ajustement d'un comportement sur la base de cette évaluation. Ainsi, l'enjeu n'est pas seulement de déterminer si la personne qui consomme perçoit des altérations ou non, ou s'il y a un écart entre sa perception de ses capacités et sa performance. Il faut aussi mieux comprendre comment ces évaluations influencent la prise de décision de conduire après consommation. La documentation sur l'alcool appuie l'importance de cette question et invite à la nuancer. Par exemple, Ouimet et al. (2020) ont montré que la perception de sa capacité à conduire après consommation d'alcool était associée à la décision de conduire. Cependant, les perceptions subjectives ne sont pas nécessairement des indicateurs fiables de l'altération réelle. Les connaissances et expériences métacognitives peuvent donc être considérées comme une première étape dans le processus décisionnel, car si les personnes qui consomment détectent mal leurs altérations, il est moins probable qu'elles ajustent leurs comportements de manière adéquate. Les recherches futures pourraient intégrer l'aspect métacognitif et sa dimension de contrôle. En complément de l'alignement entre perception et performance, il serait pertinent d'explorer comment les perceptions subjectives influencent les décisions comportementales. Comprendre la transition de la perception à l'action permettrait de mieux concevoir les interventions visant à réduire les risques liés à CACC.

Stratégie de réduction du risque

Les stratégies de réduction du risque peuvent être comprises comme l'ensemble des moyens visant à diminuer la probabilité de conduire après consommation du cannabis ou à limiter les conséquences associées à cette conduite. Par exemple, les stratégies de prévention visent à éviter la conduite après consommation avant qu'elle survienne et les stratégies de détection correspondent à l'identification d'un état d'altération. Certaines stratégies de réduction du risque pourraient être articulées autour du monitoring et contrôle métacognitifs. En fonction de ce que la personne connait d'elle-même, des effets qu'elle ressent, de leur durée, de leur intensité, elle peut adapter ses décisions en conséquence. Des stratégies de contrôle peuvent viser la prévention par la régulation anticipatoire du produit de cannabis, la dose et le mode d'administration. Les personnes qui consomment du cannabis pourraient planifier leur déplacement et leur consommation en choisissant, par exemple, certains produits avec un taux de THC plus faible ou un mode de consommation avec une durée plus courte (Fischer et al., 2023).

Au niveau du monitoring, des outils de détection pourraient évaluer objectivement certains effets du cannabis et guider le jugement métacognitif dans la prise de décision de conduire après consommation. Le traquage oculaire (*Eye-Tracking*) constitue une méthode prometteuse pour les recherches futures. Une étude pilote a utilisé un simulateur de conduite et des mesures de traquage oculaire pour montrer que certaines caractéristiques des mouvements des yeux (les saccades) sont significativement affectées par la consommation de cannabis et corrélées avec les concentrations sanguines de THC

de même que la performance à la conduite simulée (Zandi et al., 2021). Cette étude propose que ces mesures puissent servir de marqueurs non-intrusifs et fiables pour le dépistage de l'intoxication au cannabis, notamment en contexte de contrôle routier ou de surveillance en temps réel. L'intégration de ces marqueurs pourrait enrichir les méthodologies permettant d'évaluer les effets cognitifs du cannabis, en comblant certaines limites des outils traditionnels. De plus, il serait pertinent d'évaluer ces composantes des mouvements oculaires avec des mesures subjectives.

Les applications sur cellulaire ou tablette pourraient également être des outils pertinents à inclure aux stratégies de réduction du risque afin d'examiner des marqueurs objectifs d'altération après la consommation de cannabis. Par exemple, Brooks-Russell et al. (2024) ont utilisé une batterie de tâches sur tablette et les résultats ont montré une diminution des performances à certaines tâches après la consommation, notamment dans le temps de réaction et des mesures de la mémoire de travail chez des personnes qui consomment occasionnellement. Karoly et al. (2022) ont utilisé l'application DRUID (Richman & May, 2019), une application visant l'évaluation cognitive et psychomotrice. Les résultats ont montré des effets sur la stabilité posturale et le temps de réaction dans une tâche d'attention divisée. D'autres recherches sont nécessaires pour valider et développer ce type de méthodologie, et pourrait être une voie potentielle dans l'évaluation des effets cognitifs, subjectifs et possiblement physiologiques post-consommation.

Conclusion générale

La présente thèse se veut être une contribution exploratoire des phénomènes métacognitifs des effets du cannabis sur la cognition et la conduite. De nombreuses études portent sur les effets objectifs du cannabis et il est important d'examiner si la perception des personnes qui consomment s'aligne avec la performance, puisque cette perception peut influencer la CACC.

Les résultats de la revue systématique indiquent que la perception subjective de performance correspond, dans une certaine mesure, à la performance objective. Ces expériences métacognitives sont généralement plus nombreuses et négatives que les altérations mesurées, et apparaissent plus marquées pour la conduite que la cognition. Concernant les connaissances métacognitives, l'étude par questionnaire met en évidence des différences dans la perception des capacités cognitives selon les états de consommation. Sous l'effet du cannabis, les scores rapportés sont moins élevés pour les dimensions de persistance et de flexibilité, ce qui suggère une perception moins favorable. Les scores liés à l'impulsivité sont également moins élevés, indiquant une impulsivité perçue moins importante dans cet état.

Ensemble, ces articles soulignent l'importance de l'intégration d'une approche métacognitive et invitent les études futures à repenser les cadres théoriques et

méthodologiques utilisés pour étudier les effets du cannabis. Dans un contexte de légalisation, la responsabilisation doit être accompagnée de cette conscience des consommatrices et consommateurs des effets potentiels sur leur fonctionnement. Ainsi, mieux comprendre et prévenir les comportements de CACC.

Références générales

Adam, K. C. S., Doss, M. K., Pabon, E., Vogel, E. K., & de Wit, H. (2020). Δ⁹-Tetrahydrocannabinol (THC) impairs visual working memory performance: A randomized crossover trial. *Neuropsychopharmacology*, *45*(11), 1807-1816. https://doi.org/10.1038/s41386-020-0690-3

Ajzen, I. (1991). The Theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, *50*(2), 179-211. https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-T

Althubaiti, A. (2016). Information bias in health research: Definition, pitfalls, and adjustment methods. *Journal of Multidisciplinary Healthcare*, *2016*(9), 211-217. https://doi.org/10.2147/JMDH.S104807

Arkell, T. R., Kevin, R. C., Vinckenbosch, F., Lintzeris, N., Theunissen, E., Ramaekers, J. G., & McGregor, I. S. (2022). Sex differences in acute cannabis effects revisited: Results from two randomized, controlled trials. *Addiction Biology*, *27*(2), 1-10. https://doi.org/10.1111/adb.13125

Arkell, T. R., Lintzeris, N., Kevin, R. C., Ramaekers, J. G., Vandrey, R., Irwin, C., Haber, P. S., & McGregor, I. S. (2019). Cannabidiol (CBD) content in vaporized cannabis does not prevent tetrahydrocannabinol (THC)-induced impairment of driving and cognition. *Psychopharmacology*, *236*(9), 2713-2724. https://doi.org/10.1007/s00213-019-05246-8

Arterberry, B. J., Treloar, H., & McCarthy, D. M. (2017). Empirical profiles of alcohol and marijuana use, drugged driving, and risk perceptions. *Journal of Studies on Alcohol and Drugs, 78*(6), 889-898. https://doi.org/10.15288/jsad.2017.78.889

Atakan, Z., Bhattacharyya, S., Allen, P., Martín-Santos, R., Crippa, J., Borgwardt, S., Fusar-Poli, P., Seal, M., Sallis, H., & Stahl, D. (2013). Cannabis affects people differently: Inter-subject variation in the psychotogenic effects of Δ9-tetrahydrocannabinol: A functional magnetic resonance imaging study with healthy volunteers. *Psychological Medicine, 43*(6), 1255-1267. https://doi.org/10.1017/S0033291712001924

Baggetta, P., & Alexander, P. A. (2016). Conceptualization and operationalization of executive function. *Mind, Brain, and Education*, *10*(1), 10-33. https://doi.org/10.1111/mbe.12100

Ballard, M. E., & de Wit, H. (2011). Combined effects of acute, very-low-dose ethanol and delta (9)-tetrahydrocannabinol in healthy human volunteers. *Pharmacology Biochemistry and Behavior, 97*(4), 627-631. https://doi.org/10.1016/j.pbb.2010.11.013

Bari, A., & Robbins, T. W. (2013). Inhibition and impulsivity: Behavioral and neural basis of response control. *Progress in Neurobiology, 108*, 44-79. https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2013.06.005

Barkley, R. A. (2012). *Barkley Deficits in Executive Functioning Scale--Children and Adolescents (BDEFS-CA)*. Guilford Press.

Beatty, J. (1982). Task-evoked pupillary responses, processing load, and the structure of processing resources. *Psychological Bulletin, 91*(2), 276-292. https://doi.org/10.1037/0033-2909.91.2.276

Beaulieu-Thibodeau, A., Huỳnh, C., Fallu, J.-S., & Wang, Y. F. (2023). Motives for driving after cannabis use: A scoping review. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *99*, 149-166. https://doi.org/10.1016/j.trf.2023.10.012

Bhattacharyya, S., Atakan, Z., Martin-Santos, R., Crippa, J., Kambeitz, J., Malhi, S., Giampietro, V., Williams, S., Brammer, M., & Rubia, K. (2015). Impairment of inhibitory control processing related to acute psychotomimetic effects of cannabis. *European Neuropsychopharmacology, 25*(1), 26-37. https://doi.org/10.1016/j.euroneuro.2014.11.018

Boateng, G. O., Neilands, T. B., Frongillo, E. A., Melgar-Quiñonez, H. R., & Young, S. L. (2018). Best practices for developing and validating scales for health, social, and behavioral research: A primer. *Frontiers in Public Health, 6*, 1-18. https://doi.org/10.3389/fpubh.2018.00149

Boggs, D. L., Cortes-Briones, J. A., Surti, T., Luddy, C., Ranganathan, M., Cahill, J. D., Sewell, A. R., D'Souza, D. C., & Skosnik, P. D. (2018, Dec). The dose-dependent psychomotor effects of intravenous delta-9-tetrahydrocannabinol (Δ(9)-THC) in humans. *Journal of Psychopharmacology, 32*(12), 1308-1318. https://doi.org/10.1177/0269881118799953

Bond, A., & Lader, M. (1974). The use of analogue scales in rating subjective feelings. *British Journal of Medical Psychology*, *47*(3), 211-218 https://doi.org/10.1111/j.2044-8341.1974.tb02285.x

Borodovsky, J. T., Marsch, L. A., Scherer, E. A., Grucza, R. A., Hasin, D. S., & Budney, A. J. (2020). Perceived safety of cannabis intoxication predicts frequency of driving while intoxicated. *Preventive medicine, 131*, 1-20. https://10.1016/ j.ypmed.2019.105956

Boucher, L., Palmeri, T. J., Logan, G. D., & Schall, J. D. (2007). Inhibitory control in mind and brain: An interactive race model of countermanding saccades. *Psychological Review, 114*(2), 376-397. https://doi.org/10.1037/0033-295x.114.2.376

Bourque, J., & Potvin, S. (2021). Cannabis and cognitive functioning: From acute to residual effects, from randomized controlled trials to prospective designs. *Frontiers in Psychiatry*, *12*, 1-12. https://doi.org/10.3389/fpsyt.2021.596601

Brooks-Russell, A., Wrobel, J., Brown, T., Bidwell, L. C., Wang, G. S., Steinhart, B., Dooley, G., & Kosnett, M. J. (2024). Effects of acute cannabis inhalation on reaction time, decision-making, and memory using a tablet-based application. *Journal of Cannabis Research*, *6*(1), 1-10. https://doi.org/10.1186/s42238-024-00215-1

Broyd, S. J., van Hell, H. H., Beale, C., Yuecel, M., & Solowij, N. (2016). Acute and chronic effects of cannabinoids on human cognition – A systematic review. *Biological Psychiatry*, *79*(7), 557-567. https://doi.org/10.1016/j.biopsych. 2015.12.002

Burgess, P. W., Alderman, N., Evans, J., Emslie, H., & Wilson, B. A. (1998). The ecological validity of tests of executive function. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *4*(6), 547-558. https://doi.org/10.1017/S13556177984 66037

Burt, T. S., Brown, T. L., Schmitt, R., McGehee, D., Milavetz, G., Gaffney, G., & Berka, C. (2022). Perceived effects of cannabis: Generalizability of changes in driving performance. *Traffic Injury Prevention, 23*(supp.1), S8-S13. https://doi.org/10.1080/ 15389588.2022.2128787

Capler, R., Bilsker, D., van Pelt, K., & MacPherson, D. (2017). *Cannabis use and driving: Evidence review*. Burnaby (BC): Simon Fraser University, Canadian Drug Policy Coalition. https://drugpolicy.ca/wp-content/uploads/2017/02/CDPC_Cannabis-and-Driving_Evidence-Review_FINALV2_March27-2017.pdf

Chan, G. C., Hall, W., Freeman, T. P., Ferris, J., Kelly, A. B., & Winstock, A. (2017). User characteristics and effect profile of Butane Hash Oil: An extremely high-potency cannabis concentrate. *Drug and Alcohol Dependence, 178*, 32-38. https://doi.org/10.1016/j.drugalcdep.2017.04.014

Chan, R. C., Shum, D., Toulopoulou, T., & Chen, E. Y. (2008). Assessment of executive functions: Review of instruments and identification of critical issues. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *23*(2), 201-216. https://doi.org/10.1016/j.acn.2007.08.010

Connor, J. P., Gullo, M. J., Feeney, G. F., & Young, R. M. (2011). Validation of the Cannabis Expectancy Questionnaire (CEQ) in adult cannabis users in treatment. *Drug and Alcohol Dependence*, *115*(3), 167-174. https://doi.org/10.1016/j.drugalcdep.2010.10.025

Cools, R. (2016). The costs and benefits of brain dopamine for cognitive control. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, *7*(5), 317-329. https://doi.org/10.1002/wcs.1401

Cools, R. (2019). Chemistry of the adaptive mind: Lessons from dopamine. *Neuron, 104*(1), 113-131. https://doi.org/10.1016/j.neuron.2019.09.035

Cools, R., & D'Esposito, M. (2011). Inverted-U–shaped dopamine actions on human working memory and cognitive control. *Biological Psychiatry, 69*(12), e113-e125. https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2011.03.028

Crane, N. A., Schuster, R. M., Fusar-Poli, P., & Gonzalez, R. (2013). Effects of cannabis on neurocognitive functioning: Recent advances, neurodevelopmental influences, and sex differences. *Neuropsychology Review, 23*, 117-137. https://doi.org/10.1007/s11065-012-9222-1

Crean, R. D., Crane, N. A., & Mason, B. J. (2011). An evidence-based review of acute and long-term effects of cannabis use on executive cognitive functions. *Journal of Addiction Medicine*, *5*(1), 1-8. https://doi.org/10.1097/ADM.0b013e31820c23fa

Curran, H. V., Brignell, C., Fletcher, S., Middleton, P., & Henry, J. (2002). Cognitive and subjective dose-response effects of acute oral Δ^9-tetrahydrocannabinol (THC) in infrequent cannabis users. *Psychopharmacology*, *164*(1), 61-70. https://doi.org/10.1007/s00213-002-1169-0

D'Esposito, M., & Postle, B. R. (2015). The cognitive neuroscience of working memory. *Annual Review of Psychology, 66*(1), 115-142. https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010814-015031

D'Souza, D. C., Perry, E., MacDougall, L., Ammerman, Y., Cooper, T., Wu, Y.-t., Braley, G., Gueorguieva, R., & Krystal, J. H. (2004). The psychotomimetic effects of intravenous Delta-9-Tetrahydrocannabinol in healthy individuals: Implications for psychosis. *Neuropsychopharmacology*, *29*(8), 1558-1572. https://doi.org/10.1038/sj.npp.1300496

D'Souza, D. C., Ranganathan, M., Braley, G., Gueorguieva, R., Zimolo, Z., Cooper, T., Perry, E., & Krystal, J. (2008). Blunted psychotomimetic and amnestic effects of delta-9-tetrahydrocannabinol in frequent users of cannabis. *Neuropsychopharmacology*, *33*(10), 2505-2516. https://doi.org/10.1038/sj.npp.1301643

Dellazizzo, L., Potvin, S., Giguère, S., & Dumais, A. (2022). Evidence on the acute and residual neurocognitive effects of cannabis use in adolescents and adults: A systematic meta-review of meta-analyses. *Addiction*, *117*(7), 1857-1870. https://doi.org/10.1111/add.15764

Desrosiers, N. A., Ramaekers, J. G., Chauchard, E., Gorelick, D. A., & Huestis, M. A. (2015). Smoked cannabis' psychomotor and neurocognitive effects in occasional and frequent smokers. *Journal of Analytical Toxicology, 39*(4), 251-261. https://doi.org/10.1093/jat/bkv012

Di Lollo, V. (2018). Attention is a sterile concept; iterative reentry is a fertile substitute. *Consciousness and Cognition, 64*, 45-49. https://doi.org/10.1016/j.concog.2018.02.005

Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, *64*(1), 135-168. https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750

Efklides, A. (2008). Metacognition: Defining its facets and levels of functioning in relation to self-regulation and co-regulation. *European Psychologist, 13*(4), 277-287. https://doi.org/10.1027/1016-9040.13.4.277

Efklides, A., & Schwartz, B. L. (2024). Revisiting the metacognitive and affective model of self-regulated learning: Origins, development, and future directions. *Educational Psychology Review, 36*(2), 1-36. https://doi.org/10.1007/s10648-024-09896-9

ElSohly, M., & Gul, W. (2014). Constituents of cannabis sativa. *Handbook of Cannabis, 3*(1093), 187-188. https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199662685.003.0001

Englund, A., Oliver, D., Chesney, E., Chester, L., Wilson, J., Sovi, S., De Micheli, A., Hodsoll, J., Fusar-Poli, P., Strang, J., Murray, R. M., Freeman, T. P., & McGuire, P. (2023). Does cannabidiol make cannabis safer? A randomised, double-blind, cross-over trial of cannabis with four different CBD:THC ratios. *Neuropsychopharmacology, 48*(6), 869-876. https://doi.org/10.1038/s41386-022-01478-z

Fischer, B., Lindner, S. R., Jutras-Aswad, D., & Hall, W. (2023). Cannabis use and health-related "harm to others": Toward a conceptual framework and evidence base for public health. *Journal of Studies on Alcohol and Drugs, 84*(4), 636-643. https://doi.org/10.15288/jsad.22-00388

Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive-developmental inquiry. *American Psychologist*, *34*(10), 906-911. https://doi.org/10.1037/0003-066X.34.10.906

Frings, C., Beste, C., Benini, E., Möller, M., Dignath, D., Giesen, C. G., Hommel, B., Kiesel, A., Koch, I., & Kunde, W. (2024). Consensus definitions of perception-action-integration in action control. *Communications Psychology, 2*(1), 1-5. https://doi.org/10.1038/s44271-023-00050-9

Gélinas, S., Balbinotti, M. A. A., & Labonté, S.-H. (2015). Adaptação francesa da Escala Barratt de Impulsividade (BIS-11): Um estudo fatorial. *Saúde e Desenvolvimento Humano, 3*(2), 55-67. https://doi.org/10.18316/2317-8582.15.5

Germine, L., Nakayama, K., Duchaine, B. C., Chabris, C. F., Chatterjee, G., & Wilmer, J. B. (2012). Is the Web as good as the lab? Comparable performance from Web and lab in cognitive/perceptual experiments. *Psychonomic Bulletin & Review, 19*(5), 847-857. https://doi.org/ 10.3758/s13423-012-0296-9

Ghawami, H., Homaei Shoaa, J., Moazenzadeh, M., Sorkhavandi, M., Okhovvat, A., Hadizadeh, N., Yamola, M., & Rahimi-Movaghar, V. (2024). Ecological validity of executive function tests in predicting driving performance. *Applied Neuropsychology: Adult, 31*(6), 1352-1364. https://doi.org/10.1080/23279095.2022.2126940

Hanfstingl, B., Oberleiter, S., Pietschnig, J., Tran, U. S., & Voracek, M. (2024). Detecting jingle and jangle fallacies by identifying consistencies and variabilities in study specifications – A call for research. *Frontiers in Psychology, 15*, 1-5. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1404060

Hartley, S., Simon, N., Cardozo, B., Larabi, I. A., & Alvarez, J. C. (2023). Can inhaled cannabis users accurately evaluate impaired driving ability? A randomized controlled trial. *Frontiers in Public Health, 11*, 1-13. https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1234765

Hartman, R. L., & Huestis, M. A. (2013). Cannabis effects on driving skills. *Clinical chemistry, 59*(3), 478-492. https://doi.org/10.1373/clinchem.2012.194381

Hommel, B. (2015). Between persistence and flexibility: The Yin and Yang of action control. *Advances in Motivation Science*, *2*, 33-67. https://doi.org/10.1016/bs.adms.2015.04.003

Hunault, C. C., Mensinga, T. T., Böcker, K. B., Schipper, C. M. A., Kruidenier, M., Leenders, M. E., de Vries, I., & Meulenbelt, J. (2009). Cognitive and psychomotor effects in males after smoking a combination of tobacco and cannabis containing up to 69 mg delta-9-tetrahydrocannabinol (THC). *Psychopharmacology, 204*, 85-94. https://doi.org/10.1007/s00213-008-1440-0

Institut de la statistique du Québec. (2024). *Enquête québécoise sur le cannabis – Édition 2023 : Résultats détaillés*. https://statistique.quebec.ca/document/enquete-quebecoise-sur-le-cannabis-edition-2023-resultats-detaillees

Jurado, M. B., & Rosselli, M. (2007). The elusive nature of executive functions: A review of our current understanding. *Neuropsychology Review, 17*(3), 213-233. https://doi.org/10.1007/s11065-007-9040-z

Karoly, H. C., Prince, M. A., Emery, N. N., Smith, E. E., Piercey, C. J., & Conner, B. T. (2022). Protocol for a mobile laboratory study of co-administration of cannabis concentrates with a standard alcohol dose in humans. *PloS one, 17*(11), 1-11. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0277123

Kirchner, W. K. (1958). Age differences in short-term retention of rapidly changing information. *Journal of Experimental Psychology, 55*(4), 352-358. https://doi.org/10.1037/h0043688

Kowal, M. A., van Steenbergen, H., Colzato, L. S., Hazekamp, A., van der Wee, N. J., Manai, M., Durieux, J., & Hommel, B. (2015, Nov). Dose-dependent effects of cannabis on the neural correlates of error monitoring in frequent cannabis users. *European Neuropsychopharmacology, 25*(11), 1943-1953. https://doi.org/10.1016/j.euroneuro.2015.08.001

Kroon, E., Kuhns, L., & Cousijn, J. (2021). The short-term and long-term effects of cannabis on cognition: Recent advances in the field. *Current Opinion in Psychology, 38*, 49-55. https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2020.07.005

Leong, V., Raheel, K., Sim, J. Y., Kacker, K., Karlaftis, V. M., Vassiliu, C., Kalaivanan, K., Chen, S. H. A., Robbins, T. W., Sahakian, B. J., & Kourtzi, Z. (2022). A new remote guided method for supervised web-based cognitive testing to ensure high-quality data: development and usability study. *Journal of Medical Internet Research, 24*(1), 1-25. https://doi.org/10.2196/28368

Lejuez, C. W., Read, J. P., Kahler, C. W., Richards, J. B., Ramsey, S. E., Stuart, G. L., Strong, D. R., & Brown, R. A. (2002). Evaluation of a behavioral measure of risk taking: the Balloon Analogue Risk Task (BART). *Journal of Experimental Psychology: Applied, 8*(2), 75-84. https://doi.org/10.1037/1076-898X.8.2.75

Lile, J. A., Kelly, T. H., & Hays, L. R. (2014). Separate and combined effects of the GABAA positive allosteric modulator diazepam and Δ9-THC in humans discriminating Δ9-THC. *Drug and Alcohol Dependence, 143*, 141-148. https://doi.org/10.1016/j.drugalcdep.2014.07.016

Logan, G. D., & Cowan, W. B. (1984). On the ability to inhibit thought and action: A theory of an act of control. *Psychological Review, 91*(3), 295-327. https://doi.org/10.1037/0033-295X.91.3.295

Logan, G. D., Schachar, R. J., & Tannock, R. (1997). Impulsivity and inhibitory control. *Psychological Science, 8*(1), 60-64. https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1997.tb00545.x

Love, S., Larue, G. S., & Rowland, B. (2023). Alignment of subjective and objective driving impairment following alcohol and cannabis use: A systematic review. *Applied Cognitive Psychology, 37*(6), 1167-1182. https://doi.org/10.1002/acp.4111

Marcotte, T. D., Umlauf, A., Grelotti, D. J., Sones, E. G., Sobolesky, P. M., Smith, B. E., Hoffman, M. A., Hubbard, J. A., Severson, J., Huestis, M. A., Grant, I., & Fitzgerald, R. L. (2022, Mar 1). Driving performance and cannabis users' perception of safety: A randomized clinical trial. *JAMA Psychiatry, 79*(3), 201-209. https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2021.4037

Mason, N. L., Theunissen, E. L., Hutten, N., Tse, D. H. Y., Toennes, S. W., Jansen, J. F. A., Stiers, P., & Ramaekers, J. G. (2021, Jan). Reduced responsiveness of the reward system is associated with tolerance to cannabis impairment in chronic users. *Addiction Biology, 26*(1), 1-9. https://doi.org/10.1111/adb.12870

Mason, N. L., Theunissen, E. L., Hutten, N., Tse, D. H. Y., Toennes, S. W., Stiers, P., & Ramaekers, J. G. (2019). Cannabis induced increase in striatal glutamate associated with loss of functional corticostriatal connectivity. *European Neuropsychopharmacology, 29*(2), 247-256. https://doi.org/10.1016/j.euroneuro.2018.12.003

Matheson, J., & Le Foll, B. (2023). Acute and chronic impact of cannabis on human cognition. Dans C. R. Martin, V. B. Patel, & V. R. Preedy (Éds), *Cannabis use, neurobiology, psychology, and treatment* (pp. 139-153). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89862-1.00004-0

Matheson, J., Sproule, B., Di Ciano, P., Fares, A., Le Foll, B., Mann, R. E., & Brands, B. (2020). Acute and residual mood and cognitive performance of young adults following smoked cannabis. *Psychopharmacology, 237*(2), 305-316. https://doi.org/10.1007/s00213-019-05369-y

McCartney, D., Arkell, T. R., Irwin, C., & McGregor, I. S. (2021). Determining the magnitude and duration of acute Δ9-tetrahydrocannabinol (Δ9-THC)-induced driving and cognitive impairment: A systematic and meta-analytic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 126*, 175-193. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.01.003

McDonald, A. J., Hamilton, H. A., Wickens, C. M., Watson, T. M., Elton-Marshall, T., Wardell, J. D., Rueda, S., Roerecke, M., Stoduto, G., & Mann, R. E. (2021, Dec). Driving under the influence of cannabis risk perceptions and behaviour: A population-based study in Ontario, Canada. *Preventive Medicine, 153*, 1-7. https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2021.106793

McDonald, J., Schleifer, L., Richards, J. B., & de Wit, H. (2003). Effects of THC on behavioral measures of impulsivity in humans. *Neuropsychopharmacology, 28*(7), 1356-1365. https://doi.org/10.1038/sj.npp.1300176

McNair, P. M., Lorr, M., & Droppleman, L. F. (1981). *POMS manual* (2e éd.). Educational and Industrial Testing Service.

Meda, S. A., Stevens, M. C., Boer, E. R., Pittman, B., Gueorguieva, R., Huestis, M. A., & Pearlson, G. D. (2025). A randomized, placebo-controlled, double-blind, pilot study of cannabis-related driving impairment assessed by driving simulator and self-report. *Journal of Psychopharmacology, 39*(4), 364-372. https://doi.org/10.1177/02698811251324379

Metrik, J., Kahler, C. W., Reynolds, B., McGeary, J. E., Monti, P. M., Haney, M., de Wit, H., & Rohsenow, D. J. (2012). Balanced placebo design with marijuana: Pharmacological and expectancy effects on impulsivity and risk taking. *Psychopharmacology (Berl)*, *223*(4), 489-499. https://doi.org/10.1007/s00213-012-2740-y

Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology, 41*(1), 49-100. https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734

Morean, M. E., de Wit, H., King, A. C., Sofuoglu, M., Rueger, S. Y., & O'Malley, S. S. (2013). The Drug Effects Questionnaire: Psychometric support across three drug types. *Psychopharmacology, 227*(1), 177-192. https://doi.org/10.1007/s00213-012-2954-z

Morrison, P. D., Nottage, J., Stone, J. M., Bhattacharyya, S., Tunstall, N., Brenneisen, R., Holt, D., Wilson, D., Sumich, A., & McGuire, P. (2011). Disruption of frontal theta coherence by Δ9-tetrahydrocannabinol is associated with positive psychotic symptoms. *Neuropsychopharmacology, 36*(4), 827-836. https://doi.org/10.1038/npp.2010.222

Nelson, T. O. (1990). Metamemory: A theoretical framework and new findings. Dans G. H. Bower (Éd.), *Psychology of learning and motivation* (vol. 26, pp. 125-173). Elsevier. https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60053-5

Nelson, T. O., & Narens, L. (1994). Why investigate metacognition. Dans J. Metcalfe & A. P. Shimamura (Éds), *Metacognition: Knowing about knowing* (pp. 1-25). The MIT Press.

Newman, J. P., Widom, C. S., & Nathan, S. (1985). Passive avoidance in syndromes of disinhibition: Psychopathy and extraversion. *Journal of Personality and Social Psychology, 48*(5), 1316-1327. https://doi.org/10.1037//0022-3514.48.5.1316

Nigg, J. T. (2017). Annual research review: On the relations among self-regulation, self-control, executive functioning, effortful control, cognitive control, impulsivity, risk-taking, and inhibition for developmental psychopathology. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 58*(4), 361-383. https://doi.org/10.1111/jcpp.12675

Ogourtsova, T., Kalaba, M., Gelinas, I., Korner-Bitensky, N., & Ware, M. A. (2018). Cannabis use and driving-related performance in young recreational users: A within-subject randomized clinical trial. *CMAJ Open, 6*(4), E453-E462. https://doi.org/10.9778/cmajo.20180164

Okey, S. A., & Meier, M. H. (2020). A within-person comparison of the subjective effects of higher vs. lower-potency cannabis. *Drug and Alcohol Dependence, 216*, 1-8. https://doi.org/10.1016/j.drugalcdep.2020.108225

Oomen, P. P., van Hell, H. H., & Bossong, M. G. (2018). The acute effects of cannabis on human executive function. *Behavioural Pharmacology, 29*(7), 605-616. https://doi.org/10.1097/FBP.0000000000000426

Ouimet, M. C., Brown, T. G., Corado, L., Paquette, M., & Robertson, R. D. (2020). The effects of alcohol dose, exposure to an in-vehicle alcohol feedback device, and subjective responses to alcohol on the decision to drink-drive in young drivers. Accident Analysis & Prevention, 139, 105495.Patton, J. H., Stanford, M. S., & Barratt, E. S. (1995). Factor structure of the Barratt Impulsiveness Scale. Journal of Clinical Psychology, 51(6), 768-774. https://doi.org/10.1002/1097-4679(199511)51:6<768::AID-JCLP2270510607>3.0.CO;2-1

Pabon, E., & de Wit, H. (2019). Developing a phone-based measure of impairment after acute oralΔ 9-tetrahydrocannabinol. *Journal of Psychopharmacology, 33*(9), 1160-1169. https://doi.org/10.1177/0269881119862533

Patton, J. H., Stanford, M. S., & Barratt, E. S. (1995). Factor structure of the Barratt Impulsiveness Scale. *Journal of Clinical Psychology*, *51*(6), 768-774. https://doi.org/10.1002/1097-4679(199511)51:6<768::AID-JCLP2270510607>3.0.CO;2-1

Pergantis, P., Bamicha, V., Chaidi, I., & Drigas, A. (2024). Driving under cognitive control: The impact of executive functions in driving. *World Electric Vehicle Journal, 15*(10), 1-18. https://doi.org/10.3390/wevj15100474

Pertwee, R. (2008). The diverse CB1 and CB2 receptor pharmacology of three plant cannabinoids: Δ9-tetrahydrocannabinol, cannabidiol and Δ9-tetrahydrocannabivarin. *British Journal of Pharmacology, 153*(2), 199-215. https://doi.org/10.1038/sj.bjp.0707442

Prati, G., & Mancini, A. D. (2021). The psychological impact of COVID-19 pandemic lockdowns: A review and meta-analysis of longitudinal studies and natural experiments. *Psychological Medicine, 51*(2), 201-211. https://doi.org/10.1017/S0033291721000015

Ramaekers, J. G., Kauert, G., Theunissen, E. L., Toennes, S. W., & Moeller, M. R. (2009). Neurocognitive performance during acute THC intoxication in heavy and occasional cannabis users. *Journal of Psychopharmacology*, *23*(3), 266-277. https://doi.org/10.1177/0269881108092393

Ramaekers, J. G., Kauert, G., van Ruitenbeek, P., Theunissen, E. L., Schneider, E., & Moeller, M. R. (2006). High-potency marijuana impairs executive function and inhibitory motor control. *Neuropsychopharmacology*, *31*(10), 2296-2303. https://doi.org/10.1038/sj.npp.1301068

Ramaekers, J. G., Mason, N. L., Kloft, L., & Theunissen, E. L. (2021). The why behind the high: Determinants of neurocognition during acute cannabis exposure. *Nature Reviews. Neuroscience*, *22*(7), 439-454. https://doi.org/10.1038/s41583-021-00466-4

Ramaekers, J. G., Mason, N. L., Toennes, S. W., Theunissen, E. L., & Amico, E. (2022). Functional brain connectomes reflect acute and chronic cannabis use. *Scientific Reports, 12*(1), 1-12. https://doi.org/10.1038/s41598-022-06509-9

Ramaekers, J. G., Theunissen, E. L., de Brouwer, M., Toennes, S. W., Moeller, M. R., & Kauert, G. (2011). Tolerance and cross-tolerance to neurocognitive effects of THC and alcohol in heavy cannabis users. *Psychopharmacology, 214*(2), 391-401. https://doi.org/10.1007/s00213-010-2042-1

Ramaekers, J. G., van Wel, J., Spronk, D., Toennes, S., Kuypers, K., Theunissen, E., & Verkes, R.-J. (2016). Cannabis and tolerance: Acute drug impairment as a function of cannabis use history. *Scientific Reports*, *6*(1), 1-9. https://doi.org/10.1038/srep26843

Ranganathan, M., De Aquino, J. P., Cortes-Briones, J. A., Radhakrishnan, R., Pittman, B., Bhakta, S., & D'Souza, D. C. (2019). Highs and lows of cannabinoid-dopamine interactions: Effects of genetic variability and pharmacological modulation of catechol-O-methyl transferase on the acute response to delta-9-tetrahydrocannabinol in humans. *Psychopharmacology, 236*(11), 3209-3219. https://doi.org/10.1007/s00213-019-05273-5

Richards, J. B., Zhang, L., Mitchell, S. H., & De Wit, H. (1999). Delay or probability discounting in a model of impulsive behavior: Effect of alcohol. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior, 71*(2), 121-143. https://doi.org/10.1901/jeab.1999.71-121

Richman, J. E., & May, S. (2019). An investigation of the Druid® smartphone/tablet app as a rapid screening assessment for cognitive and psychomotor impairment associated with alcohol intoxication. *Vision Development & Rehabilitation, 5*(1), 31-42. https:/doi.org/10.31707/vdr2019.5.1.p31

Ronen, A., Chassidim, H. S., Gershon, P., Parmet, Y., Rabinovich, A., Bar-Hamburger, R., Cassuto, Y., & Shinar, D. (2010). The effect of alcohol, THC and their combination on perceived effects, willingness to drive and performance of driving and non-driving tasks. *Accident Analysis & Prevention*, *42*(6), 1855-1865. https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.05.006

Roth, R. M., Isquith, P. K., & Gioia, G. A. (2005). *Behavior Rating Inventory of Executive Function®--Adult Version (BRIEF-A).* [Base de données]. APA PsycTests. https://doi.org/10.1037/t86244-000

Rotheram-Fuller, E., Shoptaw, S., Berman, S. M., & London, E. D. (2004). Impaired performance in a test of decision-making by opiate-dependent tobacco smokers. *Drug and Alcohol Dependence, 73*(1), 79-86. https://doi.org/10.1016/j.drugalcdep.2003.10.003

Rubia, K., Russell, T., Overmeyer, S., Brammer, M. J., Bullmore, E. T., Sharma, T., Simmons, A., Williams, S. C. R., Giampietro, V., Andrew, C. A., & Taylor, E. (2001). Mapping motor inhibition: conjunctive brain activations across different versions of go/no-go and stop tasks. *Neuroimage, 13*(2), 250-261. https://doi.org/10.1006/nimg.2000.0685

Santé Canada. (2024). *Enquête canadienne sur le cannabis 2023: Sommaire*. https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/drogues-medicaments/cannabis/recherches-donnees/enquete-canadienne-cannabis-2023-sommaire.html

Schacter, D. L. (2022). The seven sins of memory: An update. *Memory, 30*(1), 37-42. https://doi.org/10.1080/09658211.2021.1873391

Schafer, J., & Brown, S. A. (1991). Marijuana and cocaine effect expectancies and drug use patterns. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, *59*(4), 558-565. https://doi.org/10.1037/0022-006X.59.4.558

Schlienz, N. J., Spindle, T. R., Cone, E. J., Herrmann, E. S., Bigelow, G. E., Mitchell, J. M., Flegel, R., LoDico, C., & Vandrey, R. (2020). Pharmacodynamic dose effects of oral cannabis ingestion in healthy adults who infrequently use cannabis. *Drug Alcohol Depend, 211*, 1-8. https://doi.org/10.1016/j.drugalcdep.2020.107969

Schmits, E., Quertemont, E., Guillem, E., & Mathys, C. (2016). Validation of the Marijuana Effect Expectancies Questionnaire (MEEQ) in a non-clinical French-speaking adolescent sample. *Psychologica Belgica*, *56*(1), 23-41. https://doi.org/10.5334/pb.263

Sewell, R. A., Schnakenberg, A., Elander, J., Radhakrishnan, R., Williams, A., Skosnik, P. D., Pittman, B., Ranganathan, M., & D'Souza, D. C. (2013). Acute effects of THC on time perception in frequent and infrequent cannabis users. *Psychopharmacology*, *226*(2), 401-413. https://doi.org/10.1007/s00213-012-2915-6

Sholler, D. J., Strickland, J. C., Spindle, T. R., Weerts, E. M., & Vandrey, R. (2021). Sex differences in the acute effects of oral and vaporized cannabis among healthy adults. *Addiction Biology, 26*(4), 1-22. https://doi.org/10.1111/adb.12968

Simmons, S. M., Caird, J. K., Sterzer, F., & Asbridge, M. (2022). The effects of cannabis and alcohol on driving performance and driver behaviour: A systematic review and meta-analysis. *Addiction, 117*(7), 1843-1856. https://doi.org/10.1111/add.15770

Spindle, T. R., Cone, E. J., Schlienz, N. J., Mitchell, J. M., Bigelow, G. E., Flegel, R., Hayes, E., & Vandrey, R. (2018). Acute effects of smoked and vaporized cannabis in healthy adults who infrequently use cannabis: A crossover trial. *JAMA Network Open*, *1*(7), 1-14. https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2018.4841

Spindle, T. R., Martin, E. L., Grabenauer, M., Woodward, T., Milburn, M. A., & Vandrey, R. (2021). Assessment of cognitive and psychomotor impairment, subjective effects, and blood THC concentrations following acute administration of oral and vaporized cannabis. *Journal of Psychopharmacology*, *35*(7), 786-803. https://doi.org/10.1177/02698811211021583

Strle, T. (2016). Feeling and thinking about the future: Offline metacognition in decision-making. *Interdisciplinary Description of Complex Systems: INDECS, 14*(4), 331-343. https://doi.org/10.7906/indecs.14.4.1

Sugarman, D. E., Poling, J., & Sofuoglu, M. (2011). The safety of modafinil in combination with oral Δ9-tetrahydrocannabinol in humans. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, *98*(1), 94-100. https://doi.org/10.1016/j.pbb.2010.12.013

Talsma, D. (2023). *The psychology of cognition: An introduction to cognitive neuroscience*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9781003319344

van Wel, J. H., Kuypers, K. P., Theunissen, E. L., Bosker, W. M., Bakker, K., & Ramaekers, J. G. (2012). Effects of acute MDMA intoxication on mood and impulsivity: Role of the 5-HT2 and 5-HT1 receptors. *PloS one, 7*(7), 1-8. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0040187

van Wel, J. H., Kuypers, K., Theunissen, E., Toennes, S., Spronk, D., Verkes, R., & Ramaekers, J. (2013). Single doses of THC and cocaine decrease proficiency of impulse control in heavy cannabis users. *British Journal of Pharmacology*, *170*(7), 1410-1420. https://doi.org/10.1111/bph.12425

Vandrey, R., Herrmann, E. S., Mitchell, J. M., Bigelow, G. E., Flegel, R., LoDico, C., & Cone, E. J. (2017). Pharmacokinetic profile of oral cannabis in humans: Blood and oral fluid disposition and relation to pharmacodynamic outcomes. *Journal of Analytical Toxicology, 41*(2), 83-99. https://doi.org/10.1093/jat/bkx012

Verbruggen, F., Aron, A. R., Band, G. P., Beste, C., Bissett, P. G., Brockett, A. T., Brown, J. W., Chamberlain, S. R., Chambers, C. D., Colonius, H., Colzato, L. S., Corneil, B. D., Coxon, J. P., Dupuis, A., Eagle, D. M., Garavan, H., Greenhouse, I., Heathcote, A., Huster, R. J., Jahfari, S., … Boehler, C. N. (2019). A consensus guide to capturing the ability to inhibit actions and impulsive behaviors in the Stop-Signal Task. *Elife*, *8*, 1-26. https://doi.org/10.7554/elife.46323

Vindegaard, N., & Benros, M. E. (2020). COVID-19 pandemic and mental health consequences: Systematic review of the current evidence. *Brain, Behavior, and Immunity, 89*, 531-542. https://doi.org/10.1016/j.bbi.2020.05.048

Weinstein, A., Brickner, O., Lerman, H., Greemland, M., Bloch, M., Lester, H., Chisin, R., Sarne, Y., Mechoulam, R., & Bar-Hamburger, R. (2008). A study investigating the acute dose—response effects of 13 mg and 17 mg Δ 9-tetrahydrocannabinol on cognitive—motor skills, subjective and autonomic measures in regular users of marijuana. *Journal of Psychopharmacology*, *22*(4), 441-451. https://doi.org/10.1177/0269881108088194

Wickens, C. M., Wright, M., Mann, R. E., Brands, B., Di Ciano, P., Stoduto, G., Fares, A., Matheson, J., George, T. P., & Rehm, J. (2022). Separate and combined effects of alcohol and cannabis on mood, subjective experience, cognition and psychomotor performance: A randomized trial. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, *118*, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2022.110570

Young, R., & Kavanagh, D. (1997). *The Cannabis Expectancy Questionnaire (CEQ).* The University of Queensland.

Zandi, A. S., Comeau, F. J., Mann, R. E., Di Ciano, P., Arslan, E. P., Murphy, T., Le Foll, B., & Wickens, C. M. (2021). Preliminary eye-tracking data as a nonintrusive marker for blood δ-9-tetrahydrocannabinol concentration and drugged driving. *Cannabis and Cannabinoid Research, 6*(6), 537-547. https://doi.org/10.1089/can.2020.0141

Zhornitsky, S., Pelletier, J., Assaf, R., Giroux, S., Li, C.-s. R., & Potvin, S. (2021). Acute effects of partial CB1 receptor agonists on cognition – A meta-analysis of human studies. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry, 104*, 1-9. https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2020.110063

Appendice
Projet de recherche initial

Introduction

Tout juste avant la pandémie de COVID-19, j'avais débuté un projet de recherche dans le cadre de mon doctorat. Il comprenait une batterie de tests cognitifs administrés en laboratoire, combinée à une consommation contrôlée de cannabis par les participantes et participants, ainsi qu'à une mesure fine de leur performance à l'aide de dispositifs de traquage oculaire (*eye-tracking*) durant les tâches. En recueillant les performances à deux moments (avant la consommation et sous l'effet du produit), le projet permettait de tracer un profil intra-individuel des changements cognitifs. Ce protocole visait également à relier ces performances aux caractéristiques individuelles, incluant la fréquence d'usage, la tolérance, l'historique de consommation et les paramètres pharmacologiques des produits consommés (teneur en THC, mode d'administration). Cette comparaison entre cognition, pharmacologie et profils d'usage avait pour but de contribuer à une compréhension plus nuancée de la variabilité interindividuelle des effets du cannabis, un enjeu central dans la littérature actuelle. L'objectif était d'examiner les effets aigus du THC sur un ensemble de fonctions exécutives, à la fois par des indicateurs de performance comportementale et des indices neurocognitifs indirects (p. ex., pupillométrie). J'ai travaillé des mois à développer cette batterie avec le logiciel E-Prime : choix et adaptation des tâches, définition précise des consignes, calibration du matériel, programmation des séquences expérimentales, exportation et vérification des fichiers de données. Au moment où le protocole arrivait à un stade avancé, les tâches étaient construites et testées, et je terminais la certification éthique au moment où le confinement fut décrété le 13 mars.

La fermeture des laboratoires universitaires en raison des restrictions sanitaires liées à la COVID-19 a contraint à une réorientation méthodologique majeure. Une adaptation des tâches en format en ligne a été réalisée deux ans plus tard, après la complétion de l'article 2 de cette thèse, sur la plateforme PsychoPy afin de permettre la reprise du projet à distance. Il a fallu transposer les tâches initialement programmées dans E-Prime, les reconfigurer pour une passation à domicile via Pavlovia, revoir les procédures (instructions, critères d'exclusion, contrôle de la qualité des données) et adapter le protocole pour tenir compte de l'absence de supervision directe en laboratoire. Toutefois, en raison de contraintes de recrutement (l'accès restreint à un échantillon correspondant aux critères requis) et de délais incompatibles avec l'échéancier doctoral, ce projet n'a pu être mené à terme.

Malgré son interruption, ce projet représente un travail de conception, de programmation expérimentale et de réflexion théorique considérable. Il illustre l'ampleur et la diversité des efforts engagés durant le parcours doctoral. Afin de rendre compte de la profondeur du travail réalisé même en dehors des volets publiés de la thèse, voici une description du projet alternatif en ligne dans le présent appendice. Hormis certains aspects de procédure différents de ce qui était planifié en laboratoire pour accommoder l'expérimentation à domicile, les tâches initialement développées avec le logiciel E-Prime ont été reconstruites avec PsychoPy pour administration en ligne via la plateforme Pavlovia.

L'adaptation du projet sous format en ligne, bien qu'imposée par les circonstances, conservait cette ambition scientifique et permettait de tester des versions standardisées des mêmes tâches cognitives chez des personnes consommant ou non du cannabis, à domicile, ouvrant la possibilité d'examiner les effets du cannabis dans un environnement plus écologique que le laboratoire. Malgré les limites à l'expérimentation à distance, cette adaptation offrait un potentiel unique pour explorer les changements intra-individuelles des performances cognitives dans des conditions proches de la consommation réelle. Ainsi ce projet était conçu pour investiguer la question centrale de la thèse : les consommatrices et consommateurs sont-ils de bons juges de leur propre état?

Objectif

L'objectif de ce projet était de développer une batterie de tests neurocognitifs afin d'examiner les changements dans la performance aux tâches cognitives réalisées en ligne chez des personnes consommant ou ne consommant pas de cannabis. Chez les personnes consommant du cannabis, les performances devaient être comparées avant la consommation et sous l'effet du produit de cannabis consommé. Ces performances devaient être mises en relation avec différents facteurs d'influence, notamment ceux liés à l'historique de consommation ainsi que les caractéristiques des produits consommés.

Méthode

Participantes et participants et critères d'inclusion/exclusion

Les critères d'admissibilité étaient d'être âgés de 21 ans et plus et ne pas avoir de diagnostic de dépression, anxiété, TDA/H, schizophrénie et/ou prendre de médication pouvant affecter les capacités cognitives (p. ex., des traitements pour la dépression, l'anxiété, TDA/H ou la schizophrénie). Pour les personnes consommant du cannabis, le critère de consommer du cannabis depuis plus d'un an devait également être respecté.

Procédures et matériels

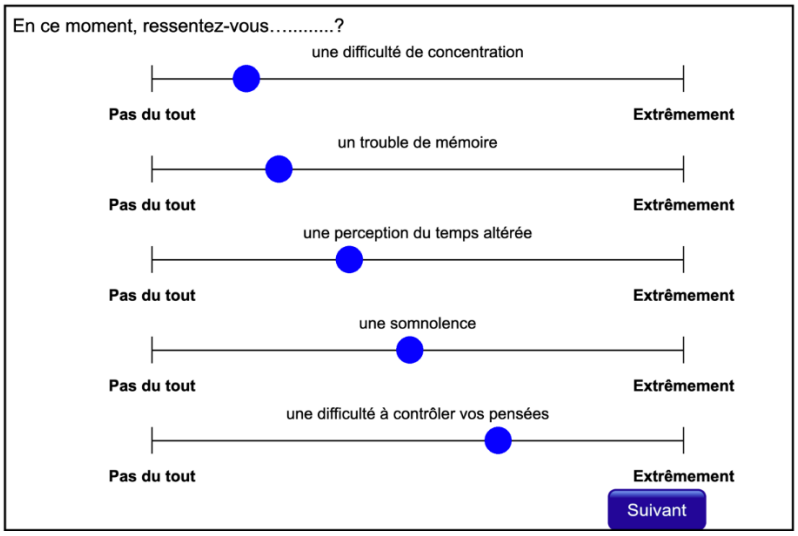
Une batterie de six tâches cognitives devait être réalisée à deux reprises à domicile sur ordinateur. Ces tâches ont été conçues pour explorer différentes composantes des fonctions exécutives et de la mémoire de travail, telles que l'inhibition, la flexibilité cognitive, la planification, ainsi que le maintien et la mise à jour de l'information verbale ou visuo-spatiale. Chaque tâche a été programmée à l'aide du logiciel PsychoPy et rendue accessible en ligne via la plateforme Pavlovia. L'ensemble de ces tests permettent de recueillir des indicateurs sensibles à l'influence potentielle du cannabis sur les capacités cognitives, à la fois dans des conditions avec et sans consommation.

Chez les personnes ne consommant pas de cannabis, l'absence d'effet du cannabis était exigée pour l'ensemble des deux passations. Pour les personnes consommant du cannabis, l'ordre des deux conditions (avec ou sans effet de cannabis) était assigné de manière aléatoire. Ainsi, une première passation était effectuée sans avoir consommé, puis une seconde sous l'effet du cannabis, ou l'inverse, selon la répartition aléatoire.

Pour la passation sous l'effet, aucune consommation ne doit avoir eu lieu avant de commencer. La connexion à la plateforme est suivie de deux questions de vérification portant sur l'état actuel et le moment de la dernière consommation. Lorsque les critères d'admissibilité sont respectés, le produit de cannabis choisi est consommé et les informations de ce produit sont indiquées. Ensuite, un délai d'attente minimum doit être réalisé en fonction du mode d'administration avant de débuter la passation des tâches. Après ce délai, deux questionnaires sur les effets ressentis du cannabis sont complétés. Ces effets sont mesurés via des échelles visuelles analogiques (100 mm), allant de *Pas du tout* (0 mm) à *Extrêmement* (100 mm). Le premier traduit en français du *Drug Effects Questionnaire* (DEQ; Morean et al., 2013), était composé de cinq items : « ressent les effets de la drogue », « ressent un effet agréable de la drogue », « ressent un *high*/euphorie/gelé », veut plus de drogue ». Le deuxième questionnaire porte sur 10 items reflétant diverses perceptions susceptibles de survenir après la consommation, telles que sur la concentration, la mémoire, la perception du temps, somnolence, anxiété, sensation de « down » ou de dépression, vitesse mentale, contrôle des pensées, état de relaxation et sur la motivation (voir Figure A1 pour un exemple). Une fois ces questionnaires complétés, la passation des tâches cognitives débute. Dans la condition sans effet de cannabis, ainsi que pour les personnes qui ne consomment pas de cannabis, le déroulement est le même à l'exception des étapes liées à la consommation de cannabis et l'évaluation des effets de la drogue.

Figure A1

Exemple d'échelle visuelle analogique des effets subjectifs ressentis



Tâches cognitives

Stop-Signal. Le paradigme du *Stop-Signal* est populaire dans l'évaluation des performances d'inhibition motrice (Logan & Cowan, 1984; Verbruggen et al., 2019). Dans cette tâche, il faut répondre le plus rapidement possible à la présentation d'une flèche

(stimulus « go ») orientée vers la gauche ou vers la droite, en appuyant sur la touche du clavier correspondante. Toutefois, dans 25 % des essais, un stimulus d'arrêt (flèche rouge) apparait, demandant d'inhiber la réponse motrice planifiée. La Figure A2 présente la première partie des instructions et la Figure A3 montre l'exemple d'un essai.

Figure A2

Premières instructions présentées pour la tâche de Stop-Signal

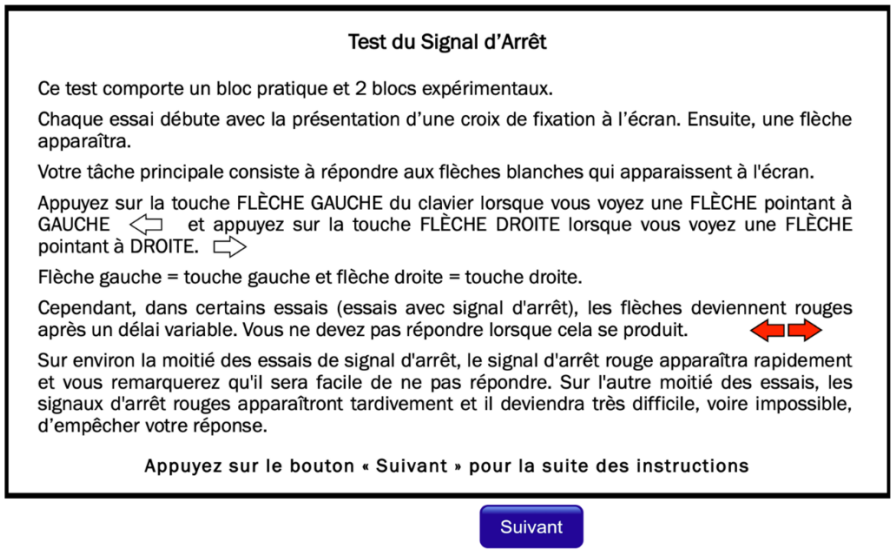
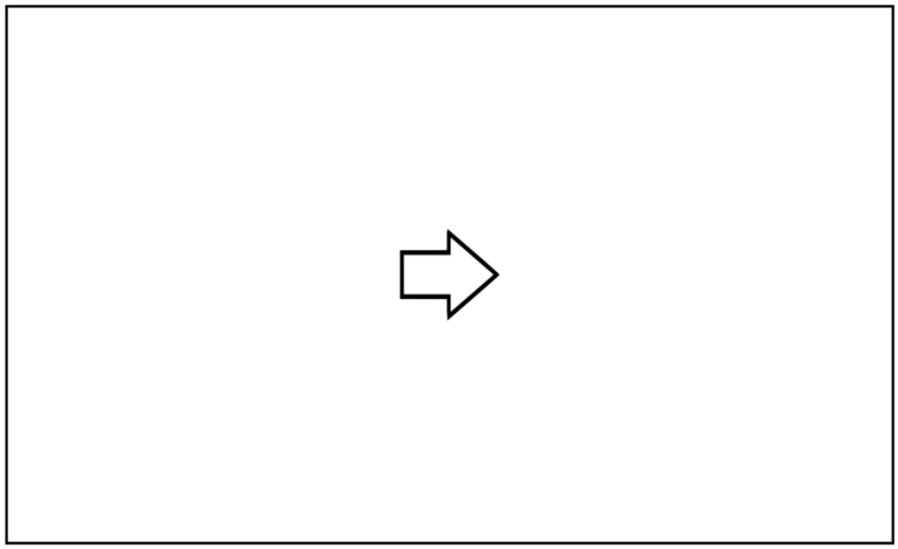


Figure A3

Exemple d'un essai de la tâche Stop-Signal



La tâche comporte quatre blocs de 64 essais chacun, précédés d'un bloc pratique de 32 essais. Chaque essai débute par une croix de fixation (250 ms), suivie du stimulus « go », disparaissant après une réponse, après l'apparition du stimulus « stop », ou après un délai maximal de 1250 ms (temps de réponse maximal, TR max). Le délai entre le stimulus « go » et le stimulus « stop » (*Stop Signal Delay*, SSD) varie selon une procédure en escalier : il commence à 300 ms et augmente de 50 ms après une inhibition réussie, ou diminue de 50 ms après un échec. Plus le SSD est court, plus il est facile d'inhiber la réponse. Un intervalle de 15 secondes sépare les blocs, permettant d'afficher un résumé de performance : temps de réaction moyen aux essais « go », nombre d'omissions (rappel que ce nombre devait être nul), et proportion de réponses inhibées lors d'essais « stop » (devant se situer autour de 0,50).

Afin de faciliter l'apprentissage de la tâche, le bloc pratique inclut une rétroaction (750 ms) indiquant :

- « Réponse incorrecte » : erreur de choix lors d'un essai « go »
- « Trop lent » : omission d'un essai « go »
- « Trop rapide » : réponse prématurée avant l'apparition du stimulus « go »
- « Souvenez-vous : essayez d'arrêter » : exécution d'une réponse lors d'un essai « stop ».

Le temps de réaction aux essais « go » (TR Go) correspond à l'intervalle entre l'apparition du stimulus et la réponse motrice. La précision est évaluée en fonction du choix gauche/droite. Le stimulus « stop » engage un processus d'inhibition des commandes motrices (Boucher et al., 2007).

Selon le modèle proposé par Verbruggen et al. (2019), le processus « go » (préparation à l'action) entre en compétition avec le processus « stop ». Lorsque ce dernier l'emporte, la réponse est inhibée et dans le cas contraire, l'inhibition échoue et la réponse est exécutée. Le temps de réaction au signal d'arrêt (*Stop Signal Reaction Time*, SSRT) correspond à la durée de ce processus d'inhibition. Comme il n'est pas directement observable (puisqu'une inhibition réussie ne produit pas de réponse), il est estimé par cette formule : SSRT = SSD – TR Go (Logan et al., 1997).

Flanker

La tâche de *Flanker* est utilisée pour mesurer la flexibilité. Dans cette version, une série de cinq lettres est brièvement présentée au centre de l'écran. Chaque essai débute par un point de fixation au centre de l'écran avant l'apparition des lettres. Les lettres entourant la lettre cible (*flankers*) peuvent être identiques ou différentes de celle-ci, ce qui crée des essais congruents ou incongruents, selon que les distracteurs facilitent ou interfèrent avec la réponse (voir Figures A4 et A5 pour les instructions). La tâche comprend 10 essais pratiques avec rétroaction, suivis de trois blocs expérimentaux de 30 essais chacun. Les variables mesurées sont le temps de réaction moyen par type d'essai (congruent vs incongruent) et le taux de bonnes réponses. La Figure A6 montre l'exemple d'un essai de la tâche.

Figure A4

Instructions de la tâche Flanker

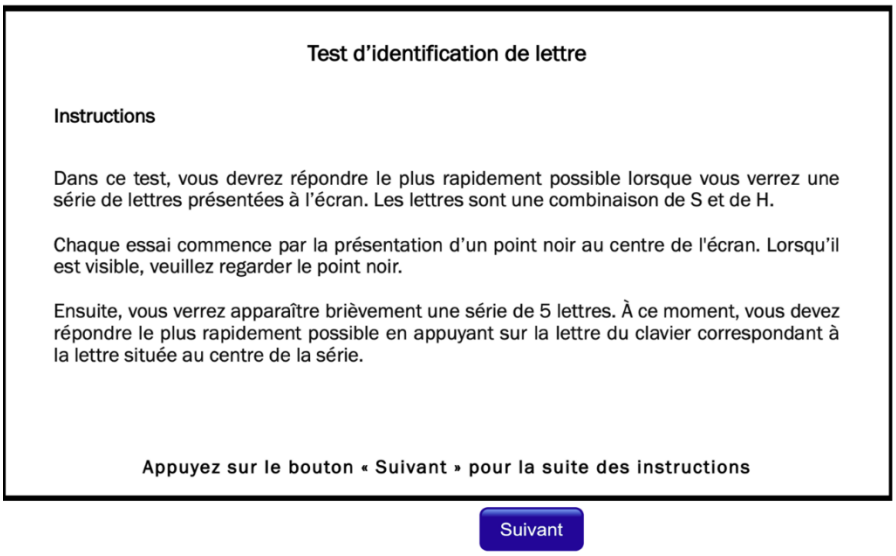


Figure A5

Suite des instructions de la tâche Flanker

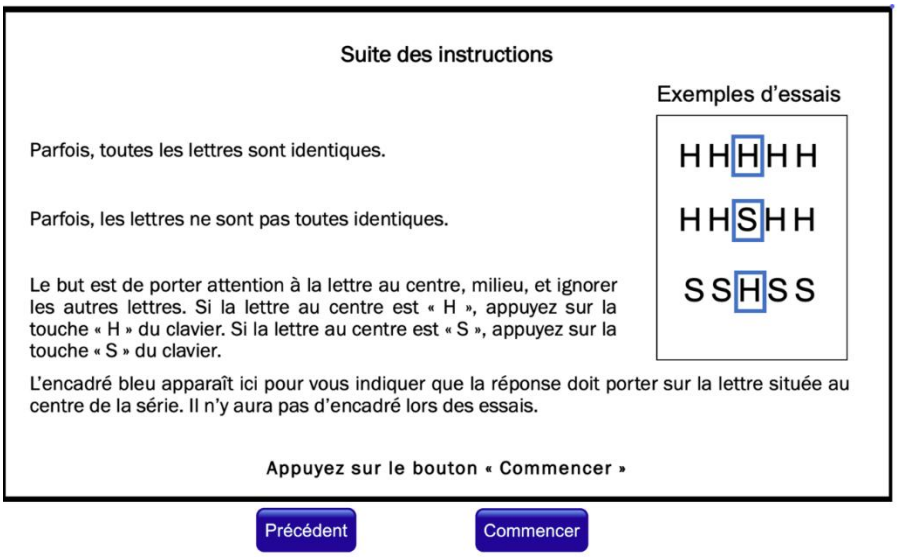
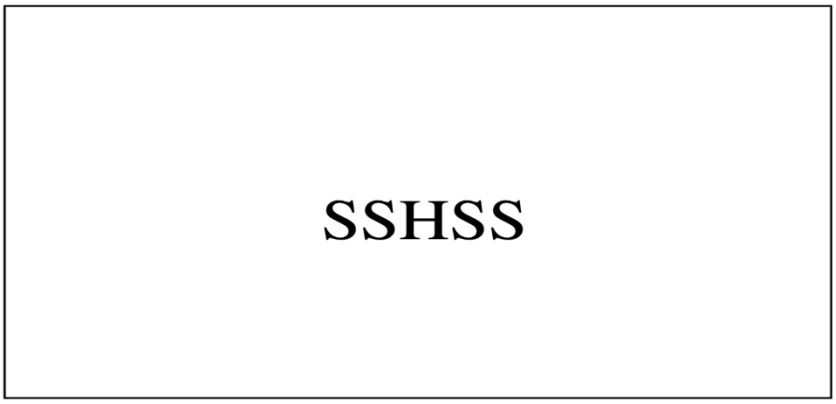


Figure A6

Exemple d'un essai de la tâche de Flanker



Empan de chiffre

La tâche de l'empan de chiffre ou en anglais *Digit Span* (Beatty, 1982) est utilisé comme mesure de la mémoire de travail, plus spécifiquement, la capacité à maintenir et manipuler temporairement de l'information numérique. Des séries de chiffres de longueur variable sont présentées à l'écran à un rythme d'un chiffre par seconde (voir Figure A7). Ensuite, un rappel immédiat doit être effectué, dans le même ordre, à l'aide du clavier (voir Figure A8). La tâche commence avec des séquences de trois chiffres, chaque longueur d'empan comprenant un minimum de cinq essais. Lorsque trois essais sont réussis à une même longueur, la séquence suivante augmente de deux chiffres. En revanche, si deux essais ou moins sur cinq sont réussis, la longueur de la séquence diminue d'un chiffre. La tâche se termine lorsque deux échecs sont commis au même empan ou lorsque la longueur maximale de onze chiffres est réussie. Les principales mesures recueillies sont la proportion d'essais réussis par longueur d'empan, ce qui permet d'estimer la capacité de maintien en mémoire de travail.

Figure A7

Exemple de la présentation d'un chiffre durant un essai de la tâche empan de chiffre

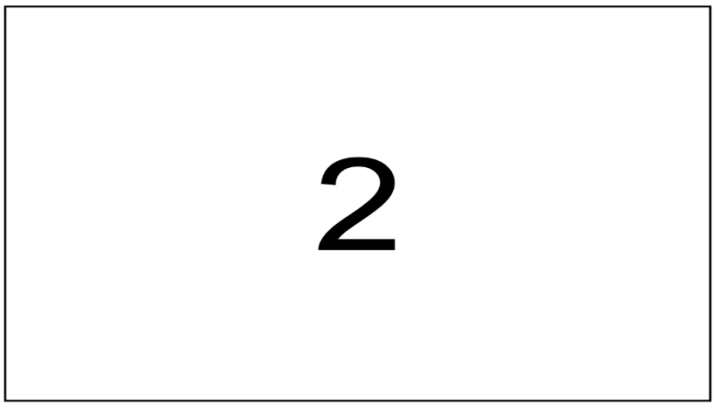
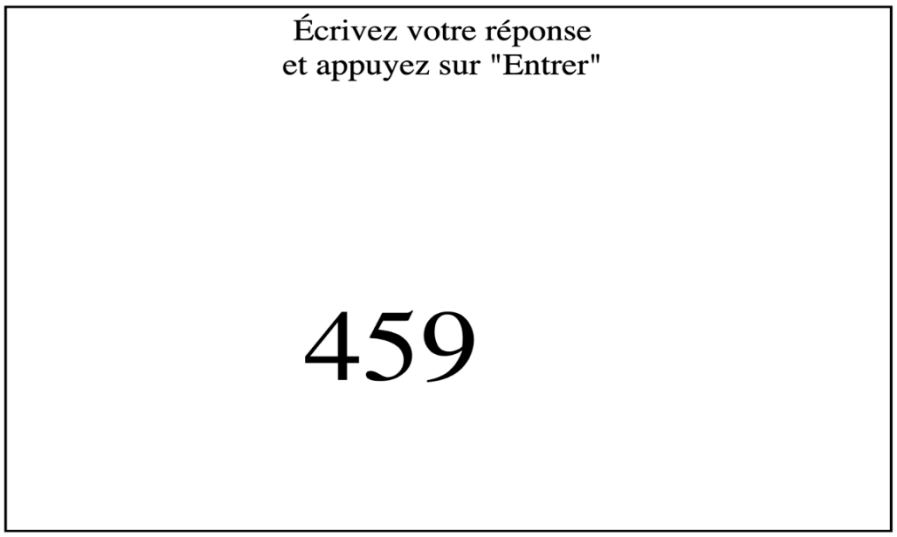


Figure A8

Exemple de l'entrée d'une réponse d'un essai de la tâche empan de chiffre



Tour de Hanoï

La *Tour de Hanoï* est une tâche mesurant les capacités de planification. Cette tâche comporte 4 disques de grosseurs différentes et répartis sur 3 tiges. L'objectif est de déplacer, avec la souris, les disques de façon à former une tour sur la tige de droite. Il y a 3 règles à suivre pour le déplacement des disques : (1) déplacer un disque à la fois; (2) déplacer un petit disque sur un gros disque et non un gros disque sur un petit; et (3) seul un disque en haut d'une tige peut être déplacé. Afin de réussir la tâche, les déplacements doivent être planifiés mentalement en respectant les règles. La Figure A9 présente une phase de pratique pour se familiariser avec la manipulation des disques avant le début du test. Ensuite, un bloc pratique permet de s'exercer à déplacer correctement les disques pour former une tour sur la tige de droite (voir Figure A10). Finalement, la Figure A11 montre la configuration initiale des tiges et disque d'un essai.

La tâche comprend 10 problèmes (tours) à réaliser. Un maximum de 50 déplacements est permis pour parvenir à la solution. Si la solution n'est pas atteinte dans cette limite, le problème suivant est présenté. Les mesures recueillies sont le temps requis pour compléter chaque tour ainsi que le nombre de déplacement et le nombre de tours résolus avec succès. La programmation de cette tâche, qui utilisait des images photoréalistes de disques ainsi que la vérification continue de leurs positions relatives, a été un défi technique important.

Figure A9

Exemple d'une pratique de déplacement de disque de la Tour de Hanoï

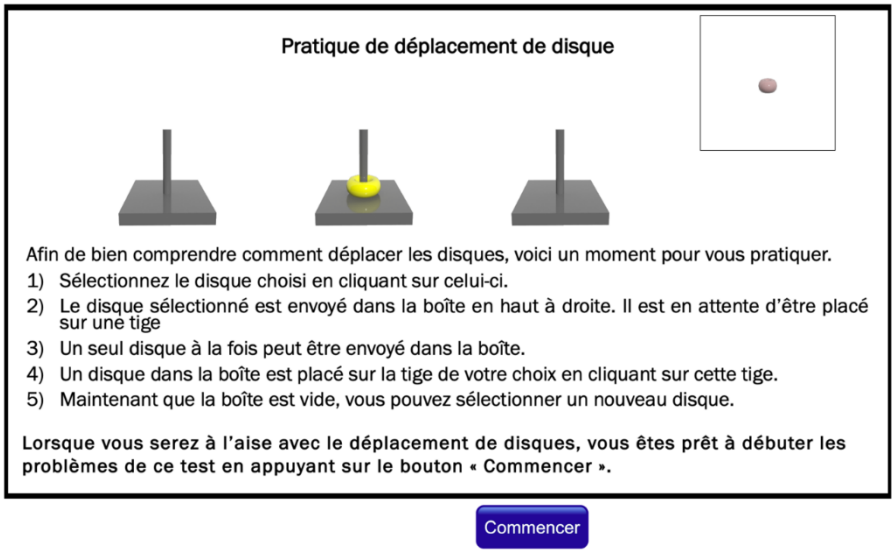


Figure A10

Exemple d'un essai pratique de la Tour de Hanoï

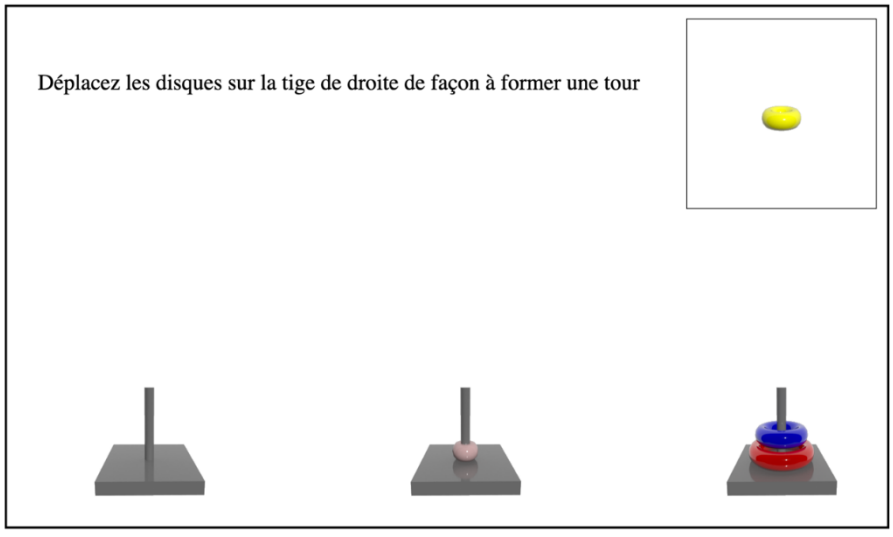
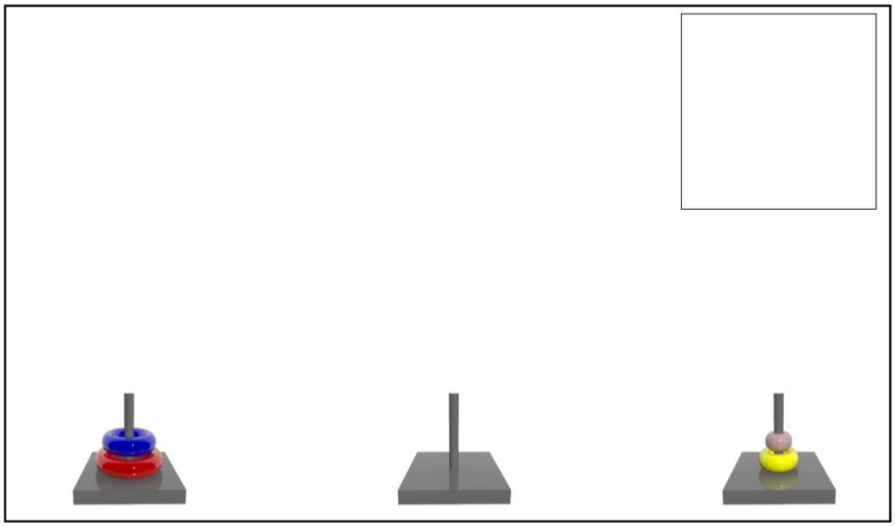


Figure A11

Exemple d'un essai de la Tour de Hanoï

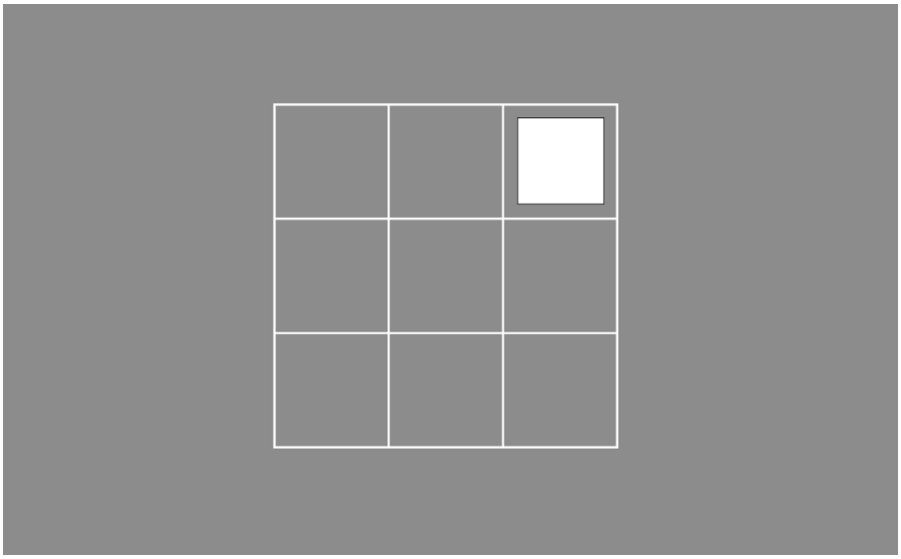


Spatial N-Back

La tâche du *N-Back* spatiale aussi nommée cible à rebours, est une mesure de la mémoire de travail visuo-spatiale, qui requiert le maintien et la mise à jour des informations visuelles selon leur position dans l'espace. À chaque essai, un carré apparait dans une grille de 9 cases affichée à l'écran (voir Figure A12). La réponse consiste à indiquer si le carré correspond à celui présenté un certain nombre d'essais auparavant, selon la règle de la condition en cours.

Figure A12

Exemple de la grille et d'un stimulus d'un essai de la tâche Spatial N-Back



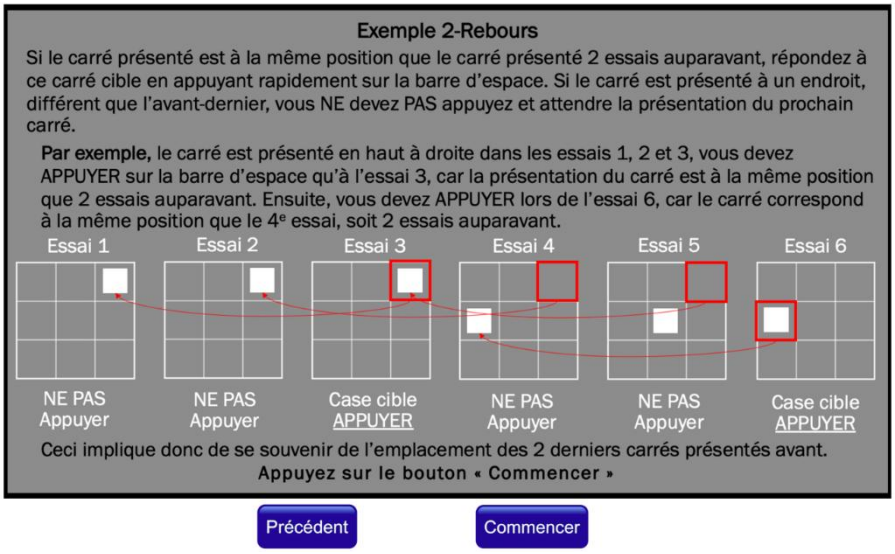
La tâche comprend trois blocs :

- Condition 1-back : appuyer sur la barre d'espace si le carré apparait à la même position que lors de l'essai précédent.
- Condition 2-back : appuyer si la position correspond à celle observée deux essais plus tôt, voir la Figure A13 pour un exemple des instructions présentés pour cette condition.
- Condition 3-back : appuyer si la position correspond à celle observée trois essais plus tôt.

Avant chaque condition, un bloc pratique de 8 essais suivi d'un bloc expérimental de 30 essais. Les variables mesurées sont le pourcentage de bonnes réponses et le temps de réaction moyen pour chaque condition.

Figure A13

Exemple d'un essai de la tâche Spatial N-Back



***Wisconsin Card Sorting Test* (WCST)**

La tâche du *Wisconsin Card Sorting Test* (WCST) évalue la flexibilité cognitive, soit la capacité à adapter ses stratégies de réponse en fonction de règles changeantes. Elle consiste à classer une pile de cartes en fonction de règles de tri (par couleur, forme, nombre) (voir la Figure 14 pour un exemple). La tâche repose sur une procédure d'essai et erreur dans laquelle les rétroactions (p. ex., « correct » ou « incorrect ») permettent de s'adapter et déduire la règle qui change après 10 réponses correctes consécutives. La Figure A15 montre une partie des instructions présentées. Les cartes sont présentées jusqu'à ce que 6 catégories soient complétées ou 128 essais. Les variables mesurées sont le nombre de catégories réussies (10 essais consécutifs), le nombre d'erreurs de persévérance (classement incorrect correspondant à la catégorie précédente lors d'une nouvelle catégorie), le nombre d'erreurs de non-persévérance (erreurs à l'intérieur de

catégories indiquant une inattention), le nombre total d'erreurs et le nombre d'essai pour compléter la première catégorie.

Figure A14

Exemple d'un essai de la tâche du WCST

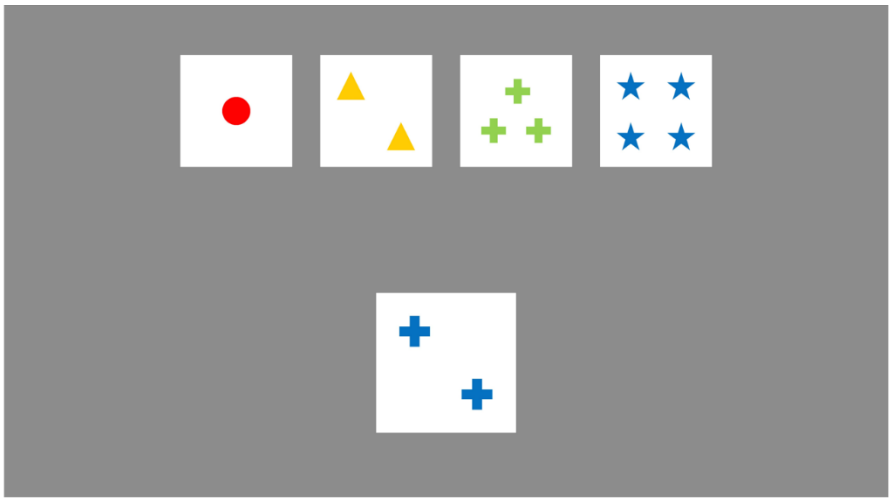
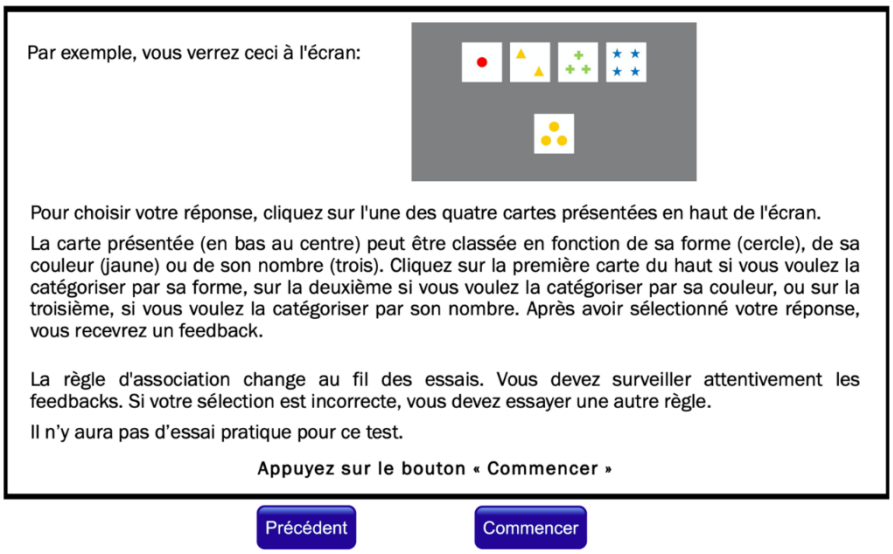


Figure A15

Extrait des instructions de la tâche du WCST



QUESTIONNAIRE SOCIODÉMOGRAPHIQUE

1. Quel est votre sexe?
   - masculin ☐
   - féminin ☐

2. Quel est votre âge? _____

3. Quelle est votre nationalité? _____

4. Quel est le plus haut niveau de scolarité que vous avez complété (inclure celui en cours s'il y a lieu)?
   - Études primaire ☐
   - Études secondaire ☐
   - Études professionnelle ☐
   - Études collégiale ☐
   - Études universitaire ☐

5. Avez-vous des enfants?
   - Oui ☐ Non ☐
   - Si oui, combien? _____

6. Avez-vous un emploi présentement?
   - Non ☐
   - Temps partiel ☐
   - Temps plein ☐
   - Exclusivement aux études ☐
   - Retraité ☐

7. Quel est votre revenu annuel ou votre revenu familial annuel (si tel est le cas)
   - Moins de 15 000 $ ☐
   - Entre 15 001 et 30 000 $ ☐
   - Entre 30 001 et 50 000 $ ☐
   - Entre 50 001 et 75 000 $ ☐
   - 75 001 $ et plus ☐

QUESTIONNAIRE SUR L'HISTORIQUE DE CONSOMMATION

Historique de consommation (répondre après le questionnaire sociodémographique

1. Au cours de la dernière année, à quelle fréquence avez-vous consommé?
   - Moins de 1 fois par mois : ____
   - 2-3 fois par mois : _____
   - 1 à 3 fois par semaine : _____
   - 4 fois et plus par semaine : _____
   - Tous les jours :_____

2. Depuis combien de temps consommez-vous?
   - Plus de 1 an : _____
   - Plus de 2 ans : _____
   - Plus de 3 ans : _____
   - Plus de 4 ans : _____
   - Plus de 5 ans : _____
   - Plus de 6 ans : _____
   - Plus de 7 ans : _____
   - Plus de 8 ans : _____
   - Plus de 9 ans : _____
   - Plus de 10 ans : _____
   - Plus de 15 ans : _____
   - Plus de 20 ans : _____

3. Est-ce que votre fréquence de consommation a variée au cours depuis le début de votre consommation? Si oui, depuis combien de temps avez-vous la même fréquence de consommation?
   Oui ☐ Non ☐
   Si oui, combien? _____

4. Que vous apporte de positif la consommation de cannabis?
   - Médical (maladie, trouble, atténuer des symptômes) : _____
   - Motivation : _____
   - Créativité : _____
   - Gêne : _____
   - Stress/Anxiété : _____
   - Sommeil : _____
   - High/gelé) : _____
   - Humeur : _____
   - Autres : _____

Avant l'épisode de consommation

5. À quand remonte votre dernière consommation?
   - Moins de 4 h : _____
   - Moins de 6 h : _____
   - Plus de 24 h : _____
   - Autre : _____

6. Quelle heure est-il au moment de la consommation? _____

7. Quel type de produit consommez-vous?
   - Fleurs/ feuilles séchées : _____
   - Haschisch/skuff : _____
   - Huile de cannabis par administration orale (p. ex., dans un compte-gouttes/une seringue, gélules/capsules, vaporisateur) : _____
   - Vaporisateurs stylos/cartouches de cannabis : _____
   - Concentré/extraits de cannabis (p. ex., "shatter"/cire/"budder"/huile de cannabis au butane) : _____
   - Produits alimentaire comestibles à base de cannabis (p. ex., biscuits, bonbons) : _____
   - Boissons à base de cannabis (p. ex., cola, thé, café) : _____
   - Agents topiques (p. ex., lotion, onguent, crèmes appliquées sur la peau) : _____

8. Quel est le mode d'administration?
   - Fumée : _____
   - Vaporisé : _____
   - Vapoté : _____
   - Ingéré : _____
   - Sous la langue : _____

9. Si connu, quel est le nom de votre produit : _____

10. Si connu, quelle est la composition de THC et/ou CBD du produit consommé?
    - THC : _____
    - CBD : _____

11. Autres détails sur la consommation : _____

Avant la passation des tâches (après l'attente du délai minimum)

12. Quelle heure est-il au moment de débuter les tâches? _____

Tableau indicateur du délai d'attente avant la passation des tâches à la suite de la consommation

Mode de consommation	Délai d'attente minimum
Inhalé	15 minutes
Ingéré sous la langue	1 h 30
Ingéré par voie orale	1 h 30