
le dépassement automobile

Le dépassement automobile : une activité perceptivo-motrice complexe

Le dépassement automobile est une activité perceptivo-motrice complexe à fortes contraintes spatio-temporelles. Elle nécessite une attention soutenue (Lemercier & Cellier, 2008) et des comportements à chaque instant appropriés aux contraintes de la situation dans un délai temporel très court. Dans un ouvrage de vulgarisation, le journaliste scientifique Vanderbilt (2009) résume la situation du conducteur en affirmant qu'«à part peut-être la neurochirurgie, la conduite automobile représente sans doute l'activité la plus complexe²».

D'après McKnight et Adams (1970) et Schäfer (2009), pour conduire une voiture, il faut réaliser environ 40 tâches majeures et 1 700 sous-tâches (e.g., tenue du volant, changement de vitesse, etc.). En partant du postulat qu'il faut traiter deux stimuli par mètre parcouru, un conducteur automobile parcourant 1.5 kilomètres à 90 kilomètres par heure devrait traiter 3000 stimuli par minute³. Par ailleurs, la difficulté d'une manœuvre de dépassement se trouve davantage augmentée lorsque le conducteur est contraint d'utiliser un véhicule inhabituel. Il doit alors s'adapter aux nouvelles caractéristiques physiques de son véhicule (e.g., puissance, hauteur du véhicule, etc.) de manière à percevoir précisément les contraintes cinématiques de son environnement (e.g., vitesse des véhicules environnant, etc). Toutefois, malgré la complexité évidente d'une manœuvre de dépassement automobile, une majorité d'automobilistes réussit ce type de tâche quotidiennement.

Selon plusieurs auteurs (Morice, Diaz, Fajen, Basilio, & Montagne, 2015; Naranjo, Gonzalez, Garcia, & de Pedro, 2008), le dépassement automobile peut être décrit à travers cinq phases (Figure 1 – dans cette configuration, les conducteurs sont supposés rouler à droite). Le processus commence avec la phase de départ (*Start phase*, Figure 1A), durant laquelle le conducteur met en œuvre des actions destinées à l'aider dans sa décision d'initier une manœuvre de dépassement à la fois légale et prudente. C'est par exemple le cas des légers déplacements latéraux dans la voie opposée afin d'améliorer la vision du trafic venant en sens inverse. Si le conducteur juge que les conditions sont assez sûres pour commencer une

²« For those of us who aren't brain surgeons, driving is probably the most complex everyday thing we do», Vanderbilt (2009, p.39).

³ Il m'a semblé opportun de mentionner cette étude, mais il faut cependant rester prudent quant à la validité scientifique de tels résultats.

manœuvre de dépassement, ce dernier pourra alors initier un déplacement latéral total dans la voie opposée (*Left phase*, Figure 1B) tout en accélérant pour doubler le véhicule-leader (*Pass phase*, Figure 1C). Une fois que le conducteur a visuellement vérifié que le dépassement est complet, autrement dit que le véhicule leader se trouve derrière lui, il doit retourner sur sa voie initiale, tout en évitant le véhicule obstacle immobilisé, (*Right phase*, Figure 1D) pour enfin terminer la manœuvre de dépassement (*End phase*, Figure 1E).

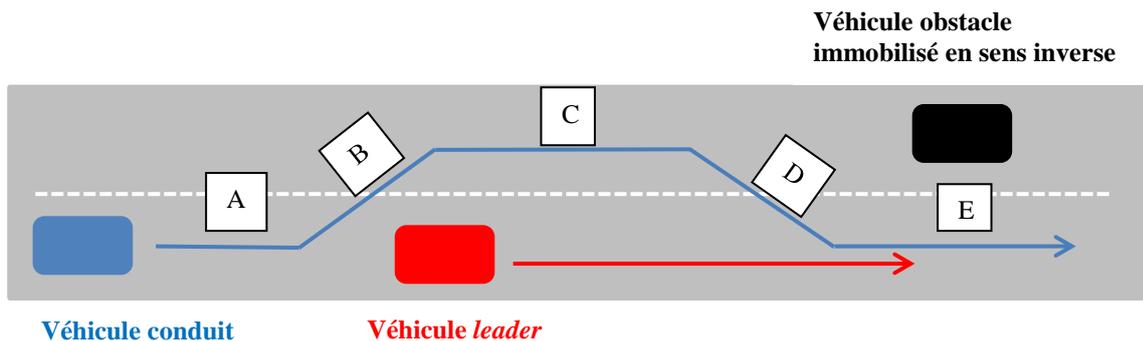


Figure 1 : Représentation schématique d'une situation de dépassement automobile classique : initiation du déplacement latéral dans la voie opposée (*Left phase*, B) ; accélération pour doubler le véhicule-leader (*Pass phase*, C) ; retour du conducteur sur sa voie initiale (*Right phase*, D) pour enfin terminer la manœuvre de dépassement (*End phase*, E)

Bien que très peu étudié par les chercheurs jusqu'alors, le dépassement automobile présente des intérêts et enjeux majeurs dans la compréhension du comportement du conducteur ancré dans son environnement.

1.1.1.1 Un rapport accidentologique éloquent

Des études relatives à l'accidentologie routière française indiquent que les accidents et la gravité de leurs conséquences s'expliquent par une combinaison de facteurs liés au conducteur, au véhicule, à la route, aux conditions de circulation, ou encore aux secours (Association Prévention Routière (APR), n.d.). Clarke, Ward, et Jones (1999) ont mis en évidence la complexité du dépassement qui peut échouer dans de nombreux cas : 8% d'accidents sont liés aux dépassements automobiles. Des erreurs dans le jugement de la distance requise pour réaliser la manœuvre ou encore la mauvaise perception de la vitesse du véhicule leader (ou possiblement l'accélération de son véhicule) peuvent être les causes de

l'échec d'un dépassement automobile (Clarke, Ward, & Jones, 1998). De récentes études (Cantin, Lavalliere, Simoneau, & Teasdale, 2009; McKnight & Adams, 1970; Polus, Livneh, & Frischer, 2000) ont confirmé les observations initiales de Clarke et al. (1999).

Par ailleurs, d'après le bilan de l'accidentalité routière de l'année 2012 (Sécurité Routière, n.d.), 49.1% des victimes de la route le sont lors d'une collision entre au moins deux véhicules, dont la moitié en collision frontale, généralement au cours d'un dépassement. Plus précisément, les accidents sur route dus à un dépassement dangereux revêtent plusieurs formes (40 millions d'automobilistes, n.d.) : la collision frontale avec un véhicule arrivant en face, la perte de contrôle en touchant l'accotement gauche de la chaussée, la perte de contrôle en se rabattant après avoir doublé, la collision avec le véhicule doublé. Les accidents routiers survenus durant un dépassement automobile sont fonction du trafic et de la période de la journée : 75% d'entre eux se produisent de jour. Autre statistique très intéressante, la responsabilité d'un accident suite à un dépassement dangereux se répartit entre 30% pour les deux roues sans spécificité d'âge et 70% pour les autres véhicules avec une concentration à 88% pour les conducteurs âgés de moins de 45 ans. Ces statistiques mettent en évidence la nécessité d'étudier d'une part le dépassement automobile réalisé par certains types de véhicules (en dehors des deux roues) et d'autre part une population de conducteurs relativement jeunes.

1.1.1.2 Une accidentologie aux causes diverses et variées

Les jeunes conducteurs de 18 à 24 ans ont un risque quatre fois supérieur à l'ensemble des conducteurs (Sécurité Routière, n.d.) d'être tué sur la route. En 2012, cette classe d'âge a connu une mortalité élevée : 20.6 % de la mortalité pour 8.8 % de la population, à tel point que la mortalité routière est devenue la principale cause de décès chez les jeunes adultes. Comme ont pu également le confirmer d'autres études (Cantin et al., 2009; Clarke et al., 1998; Farah, 2011; Llorca, Garcia, Zuriaga, Maria, & Moreno, 2012; Matthews et al., 1998; Mohaymany, Kashani, & Ranjbari, 2010a; Özkan & Lajunen, 2006; Zhang, Owen, & Clark, 1998), la population des jeunes conducteurs est représentée dans les statistiques accidentologiques du fait, notamment, de leur inexpérience au volant et de leur plus grande propension à la prise de risque (Sécurité Routière, n.d.). Par ailleurs, d'après le dernier rapport

de la sécurité routière 2012, le niveau de responsabilité des jeunes conducteurs (18-24 ans) impliqués dans les accidents mortels est supérieur à celui de l'ensemble des classes d'âges (respectivement 68 % contre 57 %). Il s'explique en grande partie par la présence d'alcool dans le sang des conducteurs.

En outre, un dernier point est à considérer dans les statistiques de l'accidentologie routière : les routes nationales à deux voies de circulation occupent un espace important dans la plupart des réseaux routiers du monde. Environ 60% de tous les accidents dans les États membres de l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE) se produisent sur ce type de route⁴ ; 35 à 50% des morts sont directement reliés aux manœuvres de dépassement⁵.

Comprendre l'activité de dépassement nécessite dès lors de déterminer les propriétés du système agent-environnement susceptibles d'être prises en compte, par le conducteur, dans la réalisation d'une telle manœuvre. L'identification et la formalisation des propriétés en jeu permettraient ainsi de caractériser les processus perceptifs et moteurs sous-jacents au dépassement. Par ailleurs, compte tenu du bilan accidentologique, une étude doit être menée sur une population relativement jeune dans un contexte de routes nationales à deux voies de circulation.

Dans la partie suivante, nous présenterons à travers plusieurs études un aperçu des propriétés d'intérêt – qu'elles soient liées à l'environnement routier et/ou au conducteur – susceptibles d'influencer la prise de décision et la réalisation d'un dépassement automobile. Nous discuterons par la suite les limites de telles études et proposerons un nouvel éclairage conceptuel en montrant comment, en s'opposant au dualisme de la perception et de l'action, la théorie écologique offre un cadre explicatif pertinent à l'étude du dépassement automobile.

⁴ *Safety Strategies for Rural Roads*. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, 1999.

⁵ *CARE: Project Community Road Accident Database, 1993–2003*. Council Decision 93/704/EC, OJ L 329, 30.12.1993, pp. 63–65.

RÉSUMÉ :

- De nombreuses études scientifiques ont mis en évidence la complexité du dépassement automobile (Cantin et al., 2009; McKnight & Adams, 1970; Polus et al., 2000).
- Les données accidentologiques révèlent une fréquence de collision non négligeable lors du dépassement automobile (Clarke et al., 1998).
- Environ 60% des accidents survenus dans les États membres de l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE) se produisent sur les routes nationales à deux voies de circulation.
- Une population est particulièrement à risque : les jeunes conducteurs de 18 à 24 ans dont le risque d'être tués sur la route est quatre fois supérieur à celui de l'ensemble des conducteurs.

I.1.2 Le dépassement automobile : un mode d'action, de multiples approches

Tout d'abord, il convient de rappeler les nombreuses contraintes spatio-temporelles auxquelles est soumis l'ensemble des 5 phases de dépassement (cf. pp. 6-7). En effet, l'échelle de temps d'un dépassement automobile n'excède que très rarement une dizaine de secondes (Hegeman, Brookhuis, & Hoogendoorn, 2005). Ainsi, la prise de décision pour initier un dépassement et juger de sa faisabilité doit être rapide et précise. Dès lors, il convient de s'interroger sur les propriétés d'intérêts à prendre en compte par le conducteur.

Dans l'ensemble du manuscrit, nous envisageons les propriétés extrinsèques et intrinsèques suivant la définition faite par Warren (1984). Les premières auront trait aux propriétés environnementales, non dimensionnées au conducteur et exprimées dans des unités de mesure absolue (e.g., courbure de la route, hauteur de marche). Tandis que les secondes auront trait aux propriétés environnementales dimensionnées à l'individu (e.g., hauteur des yeux, capacité d'accélération d'un individu, etc.) et mesurées dans une même unité

conventionnelle. Ces propriétés intrinsèques seront donc exprimées comme un ratio, i.e., sans unité absolue.

1.1.2.1 L'enjeu des propriétés environnementales du dépassement

Comme nous l'avons montré précédemment, il y a aujourd'hui un véritable enjeu sociétal et scientifique à étudier le dépassement automobile. Certains chercheurs estiment que les propriétés déterminantes pour dépasser sont liées, en grande partie, à des propriétés physiques qualifiées d'extrinsèque car mesurées dans une unité absolue non dimensionnées à l'agent, telles que la géométrie de la route (courbure des virages, etc.). Ils ont en ce sens développé des modèles analytiques basés sur les équations de mouvement pour déterminer les distances requises lors d'un dépassement (Brown & Hummer, 2000; Glennon, 1988; Hassan, Easa, & El Halim, 1996; Llorca & García, 2011; Llorca et al., 2012; Polus et al., 2000), le temps de contact entre les véhicules (Baumberger, Flückiger, Paquette, Bergeron, & Delorme, 2005; Hegeman, 2008; Hegeman, Brookhuis, Hoogendoorn, & others, 2005; Hegeman, Tapani, & Hoogendoorn, 2009; Hegeman, van der Horst, Brookhuis, & Hoogendoorn, 2007; Milanes et al., 2012; Toledo & Farah, 2011) ou encore la géométrie de la route (Hegeman et al., 2009; Loewenau et al., 2006; Tapani, 2005; Yu, El Kamel, & Gong, 2014). D'autres chercheurs, à l'exemple de Buřič et Janovský (2007, 2009, 2013) ont tenté de modéliser le comportement de dépassement en intégrant le trafic des véhicules et en s'intéressant plus particulièrement à l'espace inter-véhiculaire ainsi qu'à la vitesse du véhicule à doubler.

Dans une étude plus récente, Gray et Regan (2005) ont mis en évidence les stratégies potentiellement mises en œuvre par les conducteurs dans l'initiation et la réalisation de leur dépassement automobile. Si de telles stratégies de dépassements existent, sur quelles propriétés sont-elles fondées ? Dans cette perspective, Gray et Regan (2005) se sont focalisés sur les propriétés de temps et de distances inter-véhiculaires utilisées dans les stratégies de contrôle et de prise de décision des conducteurs au cours des manœuvres de dépassement (Figure 2). Par exemple, les auteurs font l'hypothèse que les conducteurs perçoivent un temps requis pour doubler (TRO, calculé à partir de la vitesse et de la position du véhicule leader, de la vitesse de conduite du sujet et du modèle dynamique du véhicule sujet) et le comparent à un

temps de collision dépendant du trafic venant en sens inverse TTC (*Time To Collision*⁶) pour juger si le dépassement est sans danger.

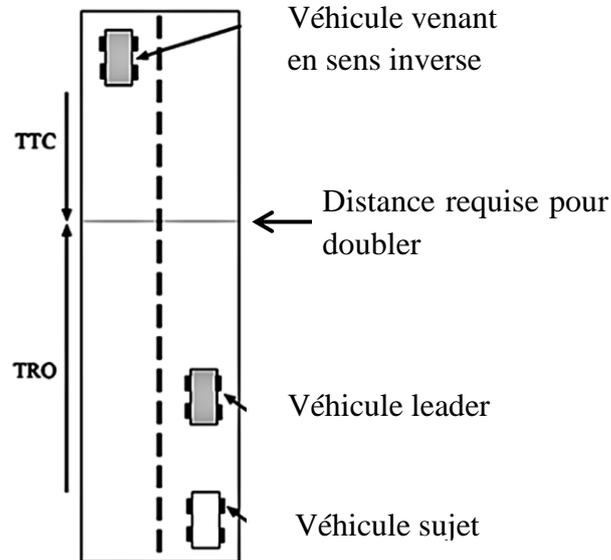


Figure 2 : Schéma représentant la situation de dépassement. Le véhicule sujet doit considérer le TRO (temps requis pour doubler), dépendant du véhicule leader, par rapport au TTC (temps de collision) d'un véhicule circulant en sens inverse. Schéma tiré de Gray et Regan (2005)

Si les conducteurs utilisent cette stratégie, alors lorsque $TTC > TRO$, c'est-à-dire lorsque le dépassement est considéré comme sans danger, les conducteurs devraient s'engager dans la manœuvre. À l'inverse, si $TTC < TRO$, le dépassement devient dangereux avec un risque majeur de collision, les conducteurs ne devraient pas s'engager dans la manœuvre. Conformément à leur hypothèse, les auteurs ont observé que les conducteurs décidaient de doubler quand $TTC > TRO$. Toutefois, ces derniers continuaient également à doubler (16% des essais) quand $TTC < TRO$.

Les auteurs ont alors mis au jour de larges différences individuelles dans la stratégie de contrôle utilisée pour l'initiation du dépassement automobile. Dans cette expérimentation réalisée sur simulateur de conduite à base fixe, un trafic en sens inverse était présent (expérimentation 2). Les conducteurs ont utilisé trois stratégies de contrôle : une stratégie de maintien d'un temps constant basé sur le temps entre le véhicule à doubler et le véhicule sujet ; une stratégie de maintien de distance constante entre le véhicule à doubler et le

⁶ Le TTC est défini comme le temps limite séparant le véhicule sujet de la voiture venant en sens inverse, à partir duquel une collision se produit.

véhicule sujet ; enfin une double stratégie de temps et de distance constants lorsque les conducteurs conduisaient respectivement à des vitesses élevées et des vitesses faibles.

En parfaite concordance avec ce qui avait été observé dans la conduite réelle, les conducteurs ont commis un nombre d'erreurs considérable durant les manœuvres de dépassement. Ces erreurs peuvent être attribuées à deux causes majeures : le choix de la stratégie de conduite et le caractère inadapté des propriétés à partir desquelles le conducteur prend sa décision. Les résultats de Gray et Regan (2005) font donc écho aux récentes études ayant mis en évidence l'importance du temps de collision dans la réalisation d'un dépassement automobile (Hegeman, 2008; Hegeman et al., 2009). Les travaux précédents de Benedetto, Benedetto, De Blasiis, et Giunta (2004) et Gray et Regan (2000), effectués sur un simulateur de conduite, ont, quant à eux, porté sur la propriété temporelle du TTC, considérée comme une propriété fiable pour initier et réaliser un dépassement en toute sécurité.

Compte tenu de la grande diversité des stratégies de contrôle du dépassement et de la variabilité des résultats en termes de performance, les propriétés temporelles décrites par les auteurs semblent être inadéquates pour caractériser la prise de décision des conducteurs lors d'un dépassement automobile. En effet, bien que la stratégie de dépassement visant à utiliser le TTC-TRO informe le conducteur sur les contraintes temporelles du dépassement, cette dernière n'apporte aucune information concernant la vitesse nécessaire à atteindre pour réussir le dépassement. En d'autres termes, si le conducteur se déplace à une vitesse courante inférieure à sa vitesse maximale, il ne sera plus capable de percevoir si un dépassement est possible ou non, sur la seule base du TTC-TRO.

Il s'agit à présent de donner un aperçu des études ayant pris le parti d'intégrer les propriétés intrinsèques au conducteur dans l'étude du comportement de prise de décision lors d'un dépassement automobile.

1.1.2.2 L'enjeu des propriétés du conducteur

Certains chercheurs ont pris le parti d'étudier les processus de prise de décision et de réalisation d'un dépassement automobile en se focalisant sur l'influence des propriétés intrinsèques au conducteur – telles que la dynamique du véhicule conduit (e.g., vitesse, accélération) (Bar-Gera & Shinar, 2005; Jamson, Chorlton, & Carsten, 2012; Jenkins & Rilett, 2004, 2005; Llorca, Garcia, Moreno, & Maria Perez-Zuriaga, 2013; Mohaymany et al.,

2010a), les ressources cognitives et les stratégies de recherches visuelles (Cantin *et al.*, 2009), l'âge (Cantin *et al.*, 2009; Clarke *et al.*, 1998; Farah, 2011; Matthews *et al.*, 1998; Mohaymany *et al.*, 2010a; Zhang *et al.*, 1998), ou encore le genre (Cantin *et al.*, 2009; Farah, 2011; Llorca *et al.*, 2013; Mohaymany *et al.*, 2010a; Özkan & Lajunen, 2006),– sur la probabilité de dépasser.

L'étude de Bar-Gera et Shinar (2005) est une des rares à avoir axé la modélisation du comportement automobile de dépassement sur une propriété physique liée à la dynamique du véhicule. Ils se sont intéressés à des propriétés physiques telles que la vitesse, pour comprendre les manœuvres de dépassement. L'étude réalisée en simulateur de conduite avait pour objectif, d'une part, d'examiner la tendance des conducteurs à doubler d'autres véhicules et d'autre part, de caractériser les manœuvres de dépassement. Plus précisément, cette étude a évalué le seuil de vitesse différentielle (i.e., vitesse entre le véhicule sujet et le véhicule à doubler) pour lequel les conducteurs prenaient la décision de doubler un véhicule placé devant eux (Figure 3). Les conducteurs placés dans un simulateur de conduite à base fixe rencontraient des véhicules devant eux qui étaient programmés pour rouler à une vitesse qui était soit en dessous soit au-dessus de leur vitesse courante ou encore égale à cette dernière. Le scénario du simulateur n'incluait aucun trafic dans la direction opposée et le délai de décision de dépassement en fonction de l'espace inter-véhiculaire n'était pas évalué contrairement au cadre expérimental utilisé par Pollatschek et Polus (2005), Buřič et Janovský (2007, 2009, 2013), Cantin *et al.* (2009), Farah et Toledo (2010), Toledo et Farah (2011) ou encore Llorca, Garcia, *et al.* (2013).

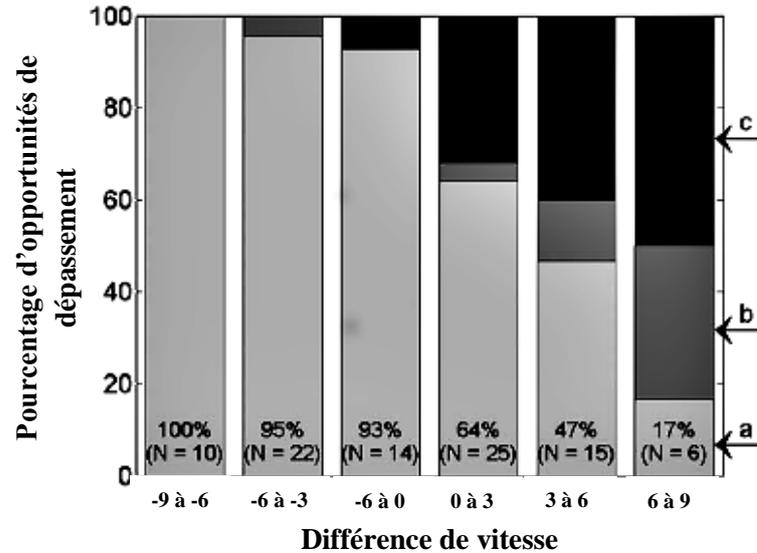


Figure 3 : Distribution des actions des conducteurs en fonction de la différence entre la vitesse du véhicule à doubler et la vitesse moyenne du véhicule sujet, en km/h. Les différences de vitesse négatives indiquent que la vitesse moyenne du véhicule sujet est supérieure à la vitesse du véhicule à doubler (a) A doublé ; (b) N'a pas doublé, mais le voulait ; (c) N'a pas doublé. Graphique tiré de Bar-Gera et Shinar (2005)

La tendance au dépassement apparaît comme étant intimement liée à la variabilité entre la vitesse du véhicule conducteur et du véhicule leader (Jenkins & Rilett, 2004) : plus le différentiel de vitesse inter-véhicule est variable, plus il y a de probabilités pour que le conducteur sujet se base sur cette variabilité et double le véhicule leader, y compris lorsque la vitesse de ce dernier est supérieure à la vitesse moyenne du véhicule sujet (Figure 3). Les résultats sont interprétés en termes d'agressivité du conducteur et de charge mentale associées à l'incapacité de doubler le véhicule devant soi. Ces observations font écho aux récentes études portant sur l'agressivité au volant (Stephens & Groeger, 2011) et la charge mentale associées aux conditions routières et à leur complexité (Cantin et al., 2009; Polus et al., 2000). Aucune discussion n'est toutefois menée sur l'influence possible des capacités d'action du véhicule conduit, définies en termes de cinématiques, dans la réalisation d'un dépassement automobile.

Notre objectif est à présent de discuter les études qui se sont intéressées à la fois aux propriétés de l'environnement et aux propriétés du conducteur pour comprendre précisément les mécanismes sous-jacents à la prise de décision et à la réalisation d'un dépassement automobile.

1.1.2.3 Prise en compte des propriétés du couple conducteur-environnement

De récentes études ont tenté d'expliquer, dans une démarche holistique, la sélection d'un mode d'action aussi complexe que le dépassement en s'intéressant notamment à l'impact des propriétés intrinsèques telles que le sexe ou le genre (Farah, 2013; Toledo & Farah, 2011; Vlahogianni, 2013) et l'âge du conducteur (Farah, 2013; Farah, Bekhor, & Polus, 2009; Toledo & Farah, 2011) sur la prise en compte de propriétés extrinsèques telles que l'espace inter-véhiculaire (Farah et al., 2009; Vlahogianni & Golias, 2012), le temps de contact avec d'autres véhicules (Farah et al., 2009; Toledo & Farah, 2011), la densité de trafic (Farah et al., 2009) ou encore la différence de vitesse (Vlahogianni, 2013; Vlahogianni & Golias, 2012).

Dans la continuité de ses précédents travaux, Farah (2013) avait pour objectif de modéliser les propriétés d'intérêt pouvant influencer le temps et la distance d'un dépassement. Pour élaborer son modèle de dépassement automobile, Farah a utilisé les données recueillies à l'aide d'un simulateur de conduite (Figure 4). Le modèle proposé par Farah (2013) prend en compte l'impact des conditions de trafic, de la géométrie de la route, des vitesses des véhicules à doubler et des véhicules roulant en sens inverse ainsi que les propriétés sociodémographiques des conducteurs (âge, genre et expérience de conduite).



Figure 4 : Scène visuelle décrivant le scénario de conduite. Scène visuelle tirée de Farah (2013)

Les résultats montrent que les conducteurs âgés prennent plus de temps et parcourent des distances plus longues durant leur dépassement que les conducteurs plus jeunes. La durée et la distance de dépassement sont significativement affectées par les propriétés du trafic

reliées au conducteur, au véhicule leader et à la voiture venant en sens inverse. Le genre du conducteur, la courbure de la route, et le type des véhicules à doubler et des véhicules roulant en sens inverse n'avaient pas d'impact significatif sur la durée et la distance du dépassement.

La principale contribution de cette étude réside dans le modèle empirique développé pour mettre en évidence les propriétés affectant le comportement de dépassement. Dans cette nouvelle étude de Farah (2013), il est important de souligner la démarche holistique – i.e., prise en compte de propriétés de l'environnement et de l'agent – initiée par ces auteurs dans la compréhension du comportement de dépassement. En effet, l'auteur considère des propriétés à la fois propres au conducteur mais également des propriétés dépendantes de la situation de dépassement (e.g., temps, distance de dépassement ou encore temps inter-véhiculaire minimal) pour tenter d'expliquer le déclenchement d'une manœuvre de dépassement.

Tout au long des expérimentations menées durant ma thèse, j'ai pris le parti d'étudier la prise de décision – et, dans une moindre mesure, la régulation de l'action – lors d'un dépassement automobile à travers le prisme de la psychologie écologique de la perception et de l'action qui propose un cadre théorique pertinent pour identifier les propriétés d'intérêt prises en compte par le conducteur. Dans les années 1970, le psychologue américain James Jérôme Gibson a mis en évidence l'indissociabilité entre la perception et l'action ainsi que le lien mutuel entre l'agent et son environnement. Cette conception holistique de l'agent interagissant avec son environnement fait écho à la célèbre formule du philosophe français Merleau-Ponty (1976) selon laquelle « l'organisme donne forme à son environnement, en même temps qu'il est façonné par lui. ».

Le postulat central de ma thèse repose sur la nécessité de formaliser les possibilités d'action du conducteur, *affordances*, définies comme le ratio entre les propriétés du système agent-environnement (e.g., vitesse ou accélération minimum satisfaisante pour réussir un dépassement) et les propriétés de l'agent, i.e., les capacités d'action du conducteur (e.g., vitesse, accélération maximales des véhicules), pour mieux comprendre les mécanismes perceptivo-moteurs en jeu lors du dépassement automobile.

Il s'agit à présent d'introduire la théorie écologique et en particulier son concept central – l'*affordance* – pour justifier le choix de telles propriétés dans l'étude des comportements de dépassement automobile.

RÉSUMÉ :

- Le paragraphe précédent nous a permis de dresser un bilan des propriétés d'intérêt formalisées jusqu'à aujourd'hui dans l'étude de la prise de décision du conducteur lors du dépassement automobile. Il ne peut prétendre à l'exhaustivité mais reste néanmoins représentatif et révèle, en outre, la diversité des propriétés pouvant influencer la prise de décision du conducteur.
- Malgré la diversité des propriétés du conducteur et de l'environnement étudiées et intégrées dans les modèles censés rendre compte du comportement de dépassement automobile, aucune étude n'est encore parvenue à un consensus sur la pertinence des propriétés sélectionnées et sur leur utilité dans la prise de décision du conducteur.

I.2 Contexte théorique : l'*affordance* à l'épreuve du comportement

I.2.1 Le concept d'*affordance* : entre théorie et application

Des statistiques intéressantes mettent en évidence l'augmentation des études utilisant le concept d'*affordance* depuis les années 1970. Un relevé effectué le 5 février 2014 dans la base de données du *Web of Science*⁷ indique un total de 785 occurrences du terme *affordance*. Si on ne trouvait que 0.26% du total des occurrences (i.e., 2 occurrences sur 785) en 1988, le terme *affordance* apparaît dans 9.8% du total des occurrences (i.e., 77 occurrences sur 785) en 2013. De plus, on constate une forte augmentation en 2007 avec 7.1% du total des occurrences (i.e., 56 occurrences sur 785) par rapport aux années 1990 pour lesquelles la moyenne est de 0.6% du total par an (i.e., 5 occurrences). L'année 2012 a connu un pic des occurrences du terme *affordance* avec 14.7% du total des occurrences (i.e., 115 occurrences sur 785).

Par ailleurs, le terme *affordance* apparaît dans près de 50 domaines de recherche allant de la psychologie avec 36.3% du total (i.e., 285 occurrences sur 785) à la robotique avec 8.8% du total (i.e., 69 occurrences sur 785) en passant par la linguistique avec 2% du total des occurrences (i.e., 16 occurrences sur 785). Remarquons également le faible nombre d'occurrences du terme dans le domaine du transport avec 0.25% du total (i.e., 2 occurrences sur 78, Figure 5).

⁷ <http://www.webofknowledge.com>

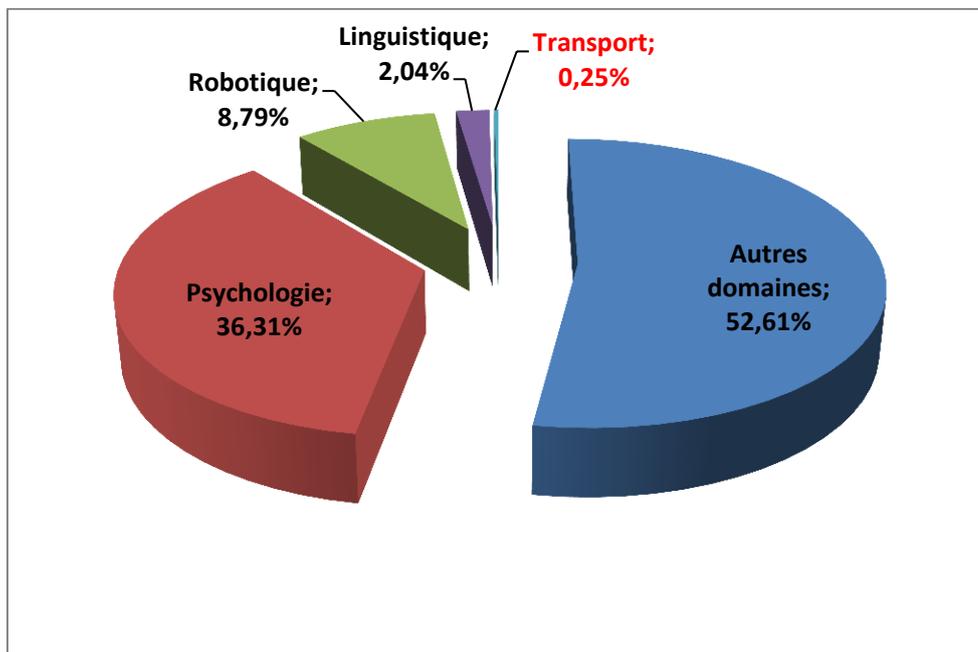


Figure 5 : Pourcentage d'occurrence du terme *affordance* en fonction des domaines de recherche depuis 1970.

Reste à comprendre quelles sont les origines conceptuelles de l'*affordance* à travers une brève mise au point épistémologique, étape préliminaire indispensable à la compréhension des propriétés pouvant influencer la prise de décision du conducteur et la réalisation du dépassement.

1.2.1.1 Le parti pris de J. J. Gibson : Conceptualisation et formalisation de l'affordance

L'*affordance* est un néologisme anglais élaboré par le psychologue américain James Jérôme Gibson dans son ouvrage *The senses considered as perceptual systems* publié en 1966 (p.285). Issue du verbe anglais « *to afford* » qui peut se traduire par offrir, permettre, fournir, la notion d'*affordance* s'inscrit dans le cadre théorique de la psychologie écologique. Ce néologisme traduit la faculté qu'ont les agents de guider leurs comportements en percevant ce que leur environnement leur offre en termes de possibilités d'action.

« Les *invites* de l'environnement sont ce qu'il offre à l'animal, ce qu'il *fournit* ou *apporte*, que ce soit bon ou mauvais. Le verbe *permettre* se trouve dans le dictionnaire, mais le nom *affordance* n'y est pas⁸. Je l'ai construit. Je désigne par ce nom quelque chose qui réfère à la fois à l'environnement et à l'animal, dans un sens qu'aucun terme existant ne désigne. Ce dernier implique la complémentarité de l'animal et de l'environnement. » (J. J. Gibson, 1986, p. 127 / *Trad. Putois* p. 211)

Situer le concept d'*affordance* dans sa construction historique est une étape indispensable afin de comprendre les raisons du parti pris conceptuel et théorique de J. J. Gibson (1986). A fortiori J. J. Gibson reconnaît l'influence qu'ont pu avoir les psychologues gestaltistes – en particulier Koffka – et les fonctionnalistes⁹ – William James et Holt par exemple – sur la conception de l'*affordance* (J. J. Gibson, 1986, p.xiii). J. J. Gibson énonce également l'influence, dans les années 1930, d'Edward Tolman – un des principaux promoteurs des thèses de la Gestalt aux États-Unis –¹⁰ et de Leonard Troland (physicien américain du XIX^e siècle) sur l'élaboration de la théorie écologique.

Il est en ce sens important de rappeler que le courant gestaltiste a mis un point d'orgue à comprendre les comportements individuels par la conceptualisation des caractères de demande ou de valence d'un objet perçu à travers le postulat subjectif et phénoménologique de la perception. Lewin (1936) a en effet montré que la signification d'un objet (valence) dépendait uniquement des besoins de l'individu. En d'autres termes, les propriétés physiques d'un objet telles que le poids, la taille, la forme, etc. – propriétés objectives indépendantes d'un individu – n'ont aucune valence pour l'individu si ces dernières ne sont pas intégrées dans son champ phénoménal – i.e., champ d'action. Le principal défaut de la théorie gestaltiste est de maintenir cette dichotomie entre le subjectif et l'objectif en surévaluant la place du subjectif dans la compréhension du comportement. Pourtant, si nous prenons l'exemple de la boîte aux lettres, sa valence ou signification ne varie pas en fonction des besoins de l'individu. Elle présente en effet l'opportunité de poster une lettre à tout moment, qu'elle soit perçue ou pas.

⁸ La traduction de cette phrase diverge volontairement de celle d'Olivier Putois afin de se rapprocher davantage du texte original.

⁹ Le fonctionnalisme s'intéresse à la notion d'adaptation à l'environnement des individus et met l'accent sur l'utilité des actions mentales plutôt que sur le contenu de la conscience, contrairement aux structuralistes.

¹⁰ Il devance le concept d'*affordance* 40 ans plus tôt avec son concept de « *manipulanda* » qu'il définit comme: « (...) le caractère des objets qui permettent (...) l'activité motrice (les manipulations) ».

« Pour Koffka, la boîte aux lettres *phénoménale* invitait à envoyer du courrier, non la boîte aux lettres *physique*. Mais cette dualité est pernicieuse. Je préfère dire que la boîte aux lettres réelle (l'*unique* boîte aux lettres) invite un humain qui écrit des lettres à envoyer des lettres au sein d'une communauté dotée d'un système postal. Ce fait est perçu lorsque la boîte aux lettres est identifiée comme telle, et il est appréhendé aussi bien lorsque la boîte aux lettres est offerte au regard que lorsqu'elle y est soustraite.» (J. J. Gibson, 1986, p. 139/ *Trad. Putois* p. 228)

Selon J. J. Gibson, il faut dépasser cette dichotomie et formuler un nouveau concept qui parvienne à lier l'objectivité physique de l'environnement à la subjectivité de l'agent qui perçoit. Pour ce faire, un changement du niveau d'analyse dans l'étude de l'interaction agent-environnement est nécessaire afin que l'objectivité physique des objets de l'environnement soit signifiante, autrement dit porteuse de sens pour l'agent. Le niveau d'analyse pertinent pour étudier la perception de l'agent ne peut donc pas se situer dans l'infiniment petit (atome) ni dans l'infiniment grand (cosmos).

Étudier l'interaction de l'agent avec son environnement doit donc se faire à un niveau d'analyse écologique. Le terme écologique traduit l'adaptation de l'agent à son milieu, i.e., à son environnement défini comme niche écologique. La théorie écologique utilise ce terme pour désigner l'environnement et ne doit pas être considéré comme un synonyme de monde extérieur (J. J. Gibson 1986, p.129). Il ne s'agit donc plus d'un monde extérieur dépourvu de signification mais d'un environnement interdépendant avec l'Homme. Par exemple, à l'échelle des animaux, la surface de la Terre n'est pas courbe, mais essentiellement plane et horizontale, tandis que la gravité est perpendiculaire et verticale à ces derniers (J. J. Gibson, 1966, p.7). Le système agent-environnement constitue donc l'unité fondamentale d'analyse de l'approche écologique et résulte du postulat de lien mutuel ou de réciprocité entre l'agent et son environnement (Luyat & Regia-Corte, 2009).

1.2.1.1.1 *Comment définir l'affordance ?*

Décrire un monde physique du point de vue comportemental et fonctionnel nous amène à définir et à identifier les propriétés du système agent-environnement susceptibles d'être utiles à l'agent pour interagir avec son environnement. Selon J. J. Gibson (1986, p.127),

l'agent ne perçoit donc pas des propriétés physiques abstraites à enrichir – dimensionnement d'un espace en unité de mesure – mais il perçoit l'invariant qui spécifie une propriété du système agent-environnement mise en relation avec une propriété anthropométrique ou une capacité d'action. L'invariant accède au statut d'information dès lors qu'il est perçu et utilisé par l'agent. Dans le cadre de la théorie écologique, la spécification est définie comme « le processus qui lie de manière univoque les patrons ambiants d'énergie et la réalité physique que ces patrons révèlent » (Bardy & Mantel, 2006; J. J. Gibson, 1986). En ce sens, l'agent perçoit directement des possibilités d'action offertes par l'environnement.

Hormis le cas particulier d'une lumière ambiante non structurée, les *affordances* – i.e., les possibilités d'action – sont, de fait, constamment disponibles dans l'environnement et porteuses d'une signification non ambiguë qui est propre à l'agent qui les perçoit. Pour un agent donné par exemple, prendre la décision de traverser un lac en hiver dépendra de propriétés de rigidité de la glace (suffisantes ou non) compte tenu de son poids. Cette *affordance* de « traversabilité » pourra être directement perçue et utilisée par l'agent désireux de traverser le lac. La perception des *affordances* va donc contraindre et orienter le comportement de l'agent en l'informant sur la justesse de la décision à prendre. L'agent est ainsi renseigné sur la dangerosité d'une action, la facilité de réalisation d'une action, etc.

« Les invites sont des propriétés considérées en référence à l'observateur. Elles ne sont ni physiques ni phénoménales. » (J. J. Gibson, 1986, p. 143/ *Trad. Putois* p. 234).

Par ailleurs, la perception d'une *affordance* va également orienter le comportement de l'agent en lui indiquant le mode d'action le plus approprié qu'il doit sélectionner dans une situation donnée. Par exemple, comme nous l'envisagerons plus précisément dans une prochaine partie¹¹, dans une situation de franchissement d'obstacle, l'individu est capable de percevoir le moment où le mode d'action bipédique ne sera plus suffisant pour franchir un obstacle sans encombre. Il optera alors pour un nouveau mode d'action en quadrupédie (Warren, 1984). En d'autres termes, en permettant à l'agent de prendre connaissance de ce qu'il peut faire ou ne pas faire dans une situation donnée, l'*affordance* rend possible un contrôle prospectif de l'action (Turvey, 1992), i.e., une régulation de l'action au cours du temps sans anticipation préalable, indispensable à toute prise de décision.

¹¹ cf. p. 56

L'*affordance* susceptible d'être perçue peut ainsi être formalisée à partir des propriétés pertinentes du système agent-environnement, pour effectuer une action donnée, référées aux propriétés de l'agent (propriétés anthropométriques, capacités d'action, ...) (Chemero, 2003; J. J. Gibson, 1986; Stoffregen, 2000; Warren, 1984). Les propriétés du système agent-environnement ne sont pas perçues, en ce sens, selon une échelle de mesure extrinsèque (mètres, secondes, etc.) mais en référence aux propriétés intrinsèques de l'agent (anthropométriques, énergétiques, etc.). Selon J. J. Gibson (1986), l'agent ne percevrait non pas les dimensions métriques d'un mur mais plutôt sa « franchissabilité ». Cette conceptualisation gibsonienne de l'*affordance* transcende la dichotomie « subjectif-objectif » et situe son analyse au niveau d'une physique écologique fonctionnelle à mi-chemin entre la subjectivité gestaltiste et l'objectivité physique d'un monde extérieur (Niveleau, 2006, p.193) : l'*affordance* est une propriété écologique, renvoyant indissociablement aux propriétés de l'environnement et aux capacités de l'agent (J. J. Gibson, 2014, p. 500).

« Une invite passe outre la dichotomie entre le subjectif et l'objectif et nous aide à saisir son caractère inadéquat. Elle est autant un fait de l'environnement qu'un fait de comportement, elle est à la fois physique et psychique, et cependant ni l'un ni l'autre. Une invite fait signe dans les deux directions, vers l'environnement et vers l'observateur. » (J. J. Gibson, 1986, p. 129/ Trad. Putois p. 214).

Les *affordances* sont donc des propriétés du système agent-environnement qui déterminent ce qui peut être réalisé (e.g., Stoffregen 2003). Par ailleurs, leur existence ne dépend pas de l'état émotionnel ou des intentions de l'agent, ni du fait qu'elles sont ou non perçues (Mantel, Bardy, & Stoffregen, 2007). Ce dernier aspect, point de divergence majeur avec les gestaltistes, revêt une grande importance dès lors qu'il s'agit d'étudier le comportement décisionnel de l'agent. Pour une situation donnée, il existe une infinité d'*affordances* potentiellement détectables et utilisables par l'agent. C'est en cela que l'*affordance* est qualifiable d'opportunité d'action (Darras & Belkhamza, 2008; Luyat & Regia-Corte, 2009) dont la détection et l'utilisation ne dépendrait que de l'intention de l'agent et de sa capacité à prélever correctement l'*affordance*. Toutes les *affordances* perçues ne sont donc pas réalisées.

« Le concept d'invite est dérivé de ces concepts de valence, d'invitation et d'exigence, mais avec une différence cruciale : l'invite de quelque chose *ne change pas* en fonction des changements des besoins de l'observateur. L'observateur peut percevoir ou ne pas percevoir l'invite, y être attentif ou non, en fonction de ses besoins, mais l'invite, étant invariante, est toujours présente et susceptible d'être perçue. Une invite n'est pas octroyée à un objet par le besoin d'un observateur qui accompagnerait la perception de cet objet : l'objet offre ce qu'il offre parce qu'il est ce qu'il est. » (J. J. Gibson, 1986, pp. 138-139/ *Trad. Putois* p. 227).

1.2.1.1.2 *Affordances et mécanismes perceptivo-moteurs*

Dans ce document, nous nous intéressons à l'identification des propriétés du système agent-environnement et des propriétés de l'agent ainsi qu'à la formalisation des mécanismes perceptivo-moteurs qui sous-tendent la sélection et, dans une moindre mesure, la régulation d'un mode d'action (e.g., doubler, ne pas doubler, se rabattre). Nous postulons que la perception d'une *affordance* permet au conducteur de sélectionner et de réguler (Fajen, 2007a) un dépassement automobile (Figure 6). Dans le respect du principe de dépendance mutuelle entre la perception et l'action (J. J. Gibson, 1986), nous intégrons la sélection et la régulation d'un mode d'action dans une relation circulaire entre la perception d'invariants optiques de haut niveau spécifiant les propriétés du système environnement-agent et la réalisation d'une action orientée vers un but. Cette dépendance mutuelle traduit les modifications de l'arrangement optique ambiant engendrées par la mise en mouvement de l'individu qui, en retour, perçoit les conséquences optiques de son action et peut fournir les ajustements moteurs nécessaires à sa réussite.

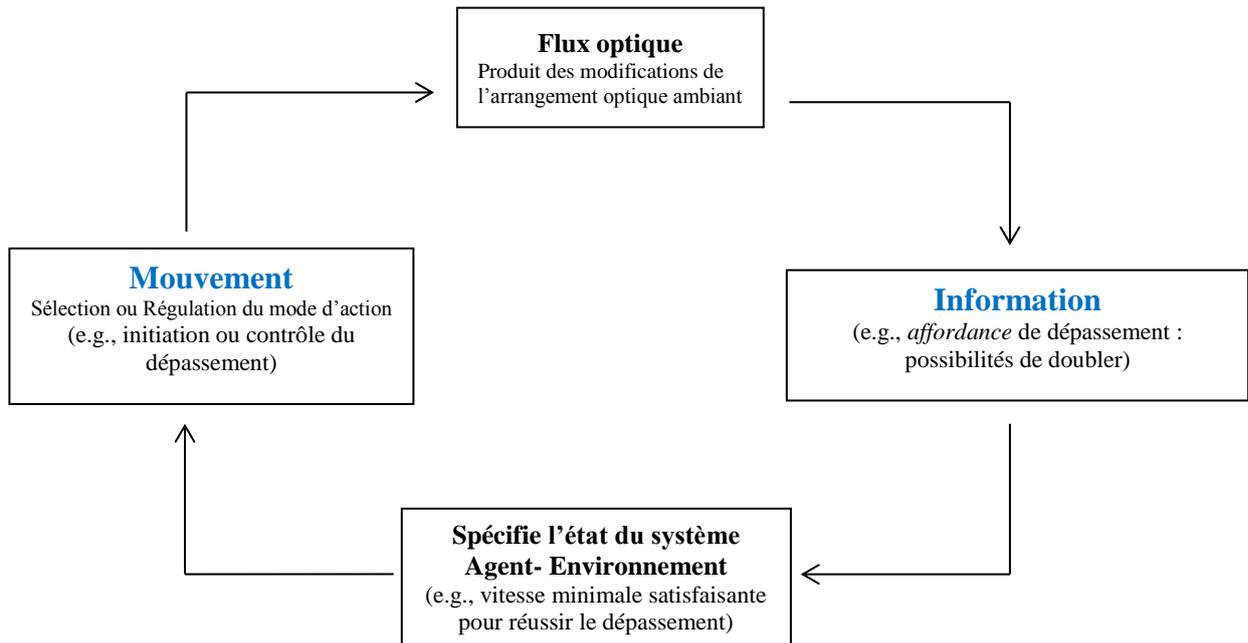


Figure 6 : Illustration du postulat relationnel entre l'information et le mouvement sous-jacent à la sélection et à la régulation d'un dépassement automobile.

Par ailleurs, nous discuterons dans les parties suivantes des possibilités d'étudier expérimentalement la sélection et la régulation d'un mode d'action en analysant la pertinence de certaines propriétés d'intérêt (e.g., cinématiques du véhicule conduit : vitesse, accélération). Il ne s'agit donc pas, dans le cadre de ce manuscrit, d'identifier le support perceptif d'une *affordance* de dépassement (e.g., taux d'expansion optique) mais plutôt d'identifier les propriétés d'intérêt à même de rendre compte de la sélection et de la régulation du dépassement. Ceci implique la formalisation de propriétés qui résument les stratégies perceptivo-motrices mises en place durant le dépassement. Ces propriétés peuvent être, par exemple, d'ordre cinématique et spécifier la vitesse minimale satisfaisante à atteindre pour réussir un dépassement (*MSV*), l'accélération maximale d'un véhicule (*Amax*), etc.

Dans le cadre de ce manuscrit de thèse, notre ambition consiste à identifier les propriétés les plus à même d'être utilisées par le conducteur. Il s'agit en effet de formaliser les 'stratégies' perceptivo-motrices sous-jacentes via les propriétés du système agent-environnement et les propriétés de l'agent. Ci-dessous, une représentation schématique (Tableau 1) qui résume la(les) relation(s) directe(s) et univoque(s) existant entre une

information et une propriété du système agent-environnement. Cette illustration permet, de différencier ce qui est de l'ordre de l'information et ce qui est de l'ordre de la propriété spécifiée.

Tableau 1: Niveaux d'analyse théorique du comportement perceptivo-moteur. La perception directe de l'information donne accès aux propriétés spécifiées du système agent-environnement à travers une relation unique et univoque.

	Informations	Propriétés	Relations
Perception directe			Univoques Uniques Directes

Il convient à présent de mettre en évidence de manière plus approfondie la variété des propriétés du système agent-environnement sous-jacentes à la prise de décision et dans une moindre mesure à la régulation de l'action de l'agent dans divers contextes et situations. Nous montrerons en quoi un certain type d'*affordance* est particulièrement pertinent dans l'étude comportementale de la prise de décision et de la régulation de l'action du conducteur lors d'une tâche de dépassement automobile.

RÉSUMÉ :

- Le cadre conceptuel de l'*affordance* ne peut se comprendre qu'à travers une mise en perspective historique des courants gestaltiste et fonctionnaliste dont J. J. Gibson s'est inspiré.
- Les *affordances*, peuvent être décrites comme des propriétés du système agent-environnement, pertinentes pour effectuer une action donnée et considérées en référence aux propriétés de l'agent (Chemero, 2003; J. J. Gibson, 1986; Stoffregen, 2000; Warren, 1984).
- Les propriétés du système agent-environnement ne sont pas perçues dans une échelle de mesure extrinsèque (mètres, secondes, etc.) mais en référence aux propriétés de l'agent (anthropométriques, énergétiques, etc.), dans une échelle de mesure intrinsèque.
- Dans ce document, nous postulons que la sélection et la régulation d'un mode d'action sont sous-tendues par la perception d'une *affordance*.

1.2.1.2 « Attrapabilité », « franchissabilité », « freinabilité »...l'enjeu des affordances

L'*affordance* traduit la faculté des animaux à sélectionner et orienter leurs comportements en percevant ce que leur environnement leur offre en termes de possibilités d'action. Pour produire un comportement adapté, i.e., sélectionner des modes d'action appropriés aux différentes situations auxquelles il est confronté, l'animal doit être capable de prélever de manière adéquate les propriétés relationnelles de l'*affordance* émergentes de son interaction avec l'environnement (Temprado & Montagne, 2001). Comme le souligne Turvey *et al.*, (1992) : « Le succès d'un comportement dépend de l'habileté à percevoir quelles actions sont possibles et quelles actions ne sont pas possibles ». Le choix d'un mode d'action (e.g., choisir de courir ou de sauter) serait donc influencé par la perception d'une *affordance* traduisant les possibilités d'action d'un agent dans son environnement. Comme nous l'avons souligné précédemment, la perception des *affordances* permet à l'individu de prendre connaissance de ce qu'il peut faire ou ne pas faire dans une situation donnée.

Face aux nombreuses situations d'évitement d'obstacle (e.g., monter des escaliers, traverser un passage piéton sans encombre) ou de prise de décision urgentes auxquelles nous sommes quotidiennement confrontés (e.g., marcher au sein d'une foule dense ou encore entrer dans le métro avant que les portes ne se ferment), comment l'*affordance* nous renseigne-t-elle sur la faisabilité d'une action ? Comment formaliser mathématiquement la perception et l'utilisation d'une *affordance* ? Cette perception est-elle toujours opérante dès lors qu'il s'agit d'envisager des propriétés du système agent-environnement, en relation avec des propriétés de l'agent d'ordre anthropométrique, biomécanique ou énergétique ?

Depuis la première définition du concept d'*affordance* par J. J. Gibson (1966, 1977), de nombreuses recherches empiriques ont démontré la perception et l'utilisation des *affordances* à travers différentes modalités perceptives (e.g., visuelle, auditive, tactile, etc.) et dans de nombreuses situations aux contraintes très variées. Certains de ces travaux ont par exemple étudié la « passabilité » des ouvertures de portes – i.e., la perception du caractère passable d'une ouverture – (Warren & Whang, 1987) plus ou moins mouvantes (Fajen & Matthis, 2013), l'« assoyabilité » des surfaces (Mark *et al.*, 1997; Mark & Vogele, 1987), ou encore l'« attrapabilité » d'un objet (Bastin, Fajen, & Montagne, 2010; Carello, Groszofsky, Reichel, Solomon, & Turvey, 1989; Solomon & Turvey, 1988; Solomon, Turvey, & Burton,

1989). En se basant sur les différentes recherches ayant étudié l'*affordance*, Fajen (2005b) ont catégorisé deux types d'*affordance* : celles qui sont dimensionnées à des propriétés anthropométriques, i.e., à des dimensions mesurables du corps de l'agent (e.g., la longueur de jambe) et celles qui sont dimensionnées aux capacités d'action de l'agent (e.g., l'accélération maximale pouvant être produite). Tout l'intérêt de définir l'*affordance* à partir des capacités d'action serait notamment de déterminer comment l'*affordance* sera utilisée tout au long de l'exécution motrice. La perception d'une *affordance* permettrait ainsi non seulement de sélectionner les actions à effectuer, mais également de réguler l'activité motrice pendant l'exécution de l'action (Fajen, 2005b).

Aussi s'agit-il à présent de dresser un état des lieux de la perception des *affordances* dimensionnées à des propriétés anthropométriques et à des capacités d'action dans des situations variées, d'en discuter les possibles limites et d'identifier leurs influences sur la prise de décision – et, dans une moindre mesure, sur la régulation de l'action – de l'agent.

1.2.1.2.1 Prise de décision et affordances dimensionnées aux propriétés anthropométriques

Depuis les années 1980, de nombreux travaux scientifiques ont entrepris de confronter la perception des *affordances* à des actions quotidiennes telles que le fait de s'asseoir, de monter des marches, de franchir une porte, etc.

Le point de départ de ces différentes recherches est la formalisation du concept d'*affordance* à partir d'une mesure anthropométrique élaborée par Warren en 1984. Dans une étude où des individus devaient juger avec précision leur capacité à monter des marches, Warren a formalisé la relation entre l'individu et l'environnement par l'expression d'un ratio sans dimension nommé π entre une propriété de l'environnement E et une propriété de l'agent A , toutes deux pertinentes pour une action donnée. En considérant que les deux propriétés (E et A) sont mesurées dans une même unité conventionnelle, alors les unités disparaissent et le ratio π ainsi obtenu devient sans dimension (Warren, 1984). Dans l'étude de Warren, la

propriété de l'environnement (E) est définie par la hauteur de marche à gravir et la propriété de l'agent (A) est définie par la longueur de jambe du sujet (Figure 7A). La hauteur de marche ainsi que la longueur de jambe du sujet étant exprimées en cm, on obtient un ratio π sans dimension: $\pi = \frac{E}{A}$. Le ratio π ne désigne pas nécessairement un rapport au sens mathématique, mais traduit le fait qu'une quantité est prise en référence à une autre – i.e., dans une échelle de mesure intrinsèque. Tout l'intérêt du ratio π est qu'il est modifié à mesure que la situation change, i.e., en fonction de l'évolution des propriétés du système agent-environnement. Ainsi, à partir d'une valeur donnée du ratio π , appelée point critique (e.g., Warren, 1988), l'individu transiterait d'un mode d'action à un autre. Ce postulat a été mis à l'épreuve à travers trois expérimentations.

Dans une première expérimentation, deux groupes de jeunes hommes de tailles différentes – petites (163.7cm) et grandes (189.8 cm) – devaient juger le caractère « montable » (i.e., en bipédie, sans s'aider des mains) de différentes hauteurs de marches (de 50.8 à 101 cm) par le biais de photos qui leurs étaient présentées. Pour Warren (1984), l'objectif de cette tâche de jugement perceptif est de valider son modèle biomécanique en montrant que les sujets parviennent à estimer avec une grande précision le point critique pour passer d'un mode d'action bipédique à quadrupédique. Comme escompté, la hauteur de marche critique (correspondant à 50% des jugements du caractère « montable » des marches) est plus faible (Figure 7B) pour les individus de petites tailles (67.13 cm) que pour le groupe de grande taille (81.32 cm). Toutefois, lorsque l'on exprime le pourcentage des jugements de « montabilité » des marches en fonction du ratio entre la hauteur de marche et la longueur de jambe (ratio π), les courbes de pourcentages des jugements positifs et négatifs se superposent (Figure 7C) et indiquent un point critique égal à 0.88 validant de ce fait le modèle biomécanique de Warren établi *a priori*. En d'autres termes, les individus, quelle que soit leur taille, jugent une marche montable en mode bipédique (i.e., sans s'aider des mains) si cette dernière n'excède pas 88% de la longueur totale de la jambe de l'individu.

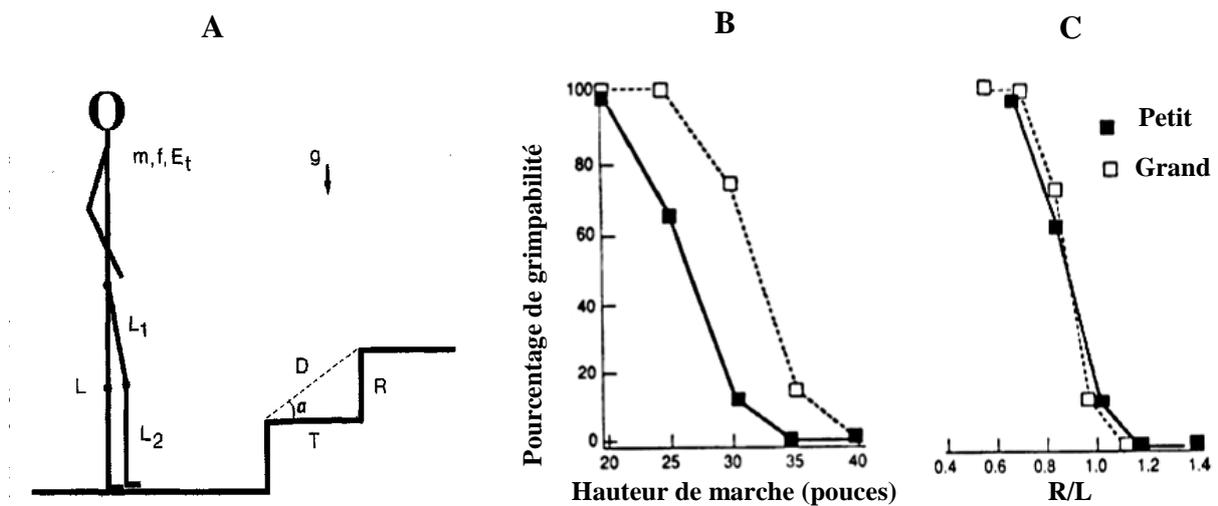


Figure 7 : Estimation du caractère « montable » d'un escalier en bipédie. A) Les propriétés extrinsèques de l'environnement sont définies par la hauteur de la contremarche (R), la profondeur de la marche (T), et la force gravitationnelle (g). Les propriétés intrinsèques de l'individu sont la longueur de jambe (L), la masse du corps (m), la fréquence de marche (f), et la dépense énergétique par unité de temps (E_t). B) Lorsque la probabilité d'estimer un escalier « montable » est exprimée en fonction de la hauteur de la contremarche (unité extrinsèque), les jugements diffèrent selon la taille de jambe des sujets (les symboles □ sont utilisés pour décrire les grandes longueurs de jambe ; les symboles ■ pour les petites). C) Lorsque la probabilité d'estimer un escalier comme « montable » est exprimée en fonction du ratio hauteur de contremarche ÷ longueur de jambe, les jugements sont similaires quelle que soit la taille de jambe des individus. Illustration tirée de Warren (1984)

Cette expérimentation révèle la capacité des agents à percevoir les propriétés du système agent-environnement qui caractérisent une *affordance* : la perception de ce qui est possible et de ce qui ne l'est plus dans une situation donnée. À travers cette étude, Warren a été le premier chercheur à proposer et à valider chez l'Homme une formalisation mathématique de l'*affordance*. Cette étude formalise ainsi le processus de prise de décision de l'individu dans sa capacité à choisir le mode d'action adapté à une situation.

L'étude de Warren et Whang (1987) a mis en évidence, quant à elle, l'influence de la hauteur des yeux effective dans le jugement de la faisabilité d'une action et donc dans la prise de décision des individus. En l'occurrence, des individus divisés en deux groupes (épaules larges et épaules étroites) devaient juger la « passabilité » de différentes portes, dont la largeur était modifiée, en indiquant pour quelles conditions ils sélectionneraient le mode d'action « tourner les épaules » pour franchir la porte. Lorsque les résultats sont exprimés dans une mesure extrinsèque (Figure 8A et C), le groupe des individus aux épaules plus larges juge une porte comme étant passable pour des ouvertures plus grandes que le groupe des individus aux épaules étroites, qu'il s'agisse de conditions de jugements statique ou en mouvement. Toutefois, les résultats ont révélé un ratio π (largeur de la porte / largeur des épaules) de 1.16 quasiment identique entre les estimations effectuées de manière statique et en mouvement

(Figure 8B et D). En d'autres termes, les individus, quelles que soient leur largeur d'épaules et leur activité (statique ou en mouvement), jugent une porte comme étant « passable » (i.e., franchissable sans tourner les épaules) si la largeur de porte (Figure 8B et D) n'excède pas 116% de la largeur totale de leur épaule. Dans la précédente étude de Warren (1984), le ratio π (hauteur de marche/longueur de jambe) était égal à 0.88 pour les individus aux grandes et petites jambes. Cette différence de ratio entre les deux études s'explique par l'existence d'une relation constante entre la hauteur des yeux en station debout (notée e) et la largeur d'épaule des individus (notée S). En ce sens, l'information spécifiant le ratio entre des propriétés de largeur d'ouverture (notée A) et de hauteur des yeux en station debout (notée e) fournit une information relative au ratio A/S . Par ailleurs, Warren a indiqué que la largeur d'épaule des individus était égale en moyenne à 0.25 de leur hauteur des yeux ($S/e = 0.25$), d'où : $A/e = 0.25 \times A/S$. Les jugements perceptifs distinguant les franchissements d'ouverture possible et impossible ($A/S = 1.16$) sont ainsi spécifiés par une valeur à la marge du ratio de la hauteur des yeux : $A/e = 0.29$.

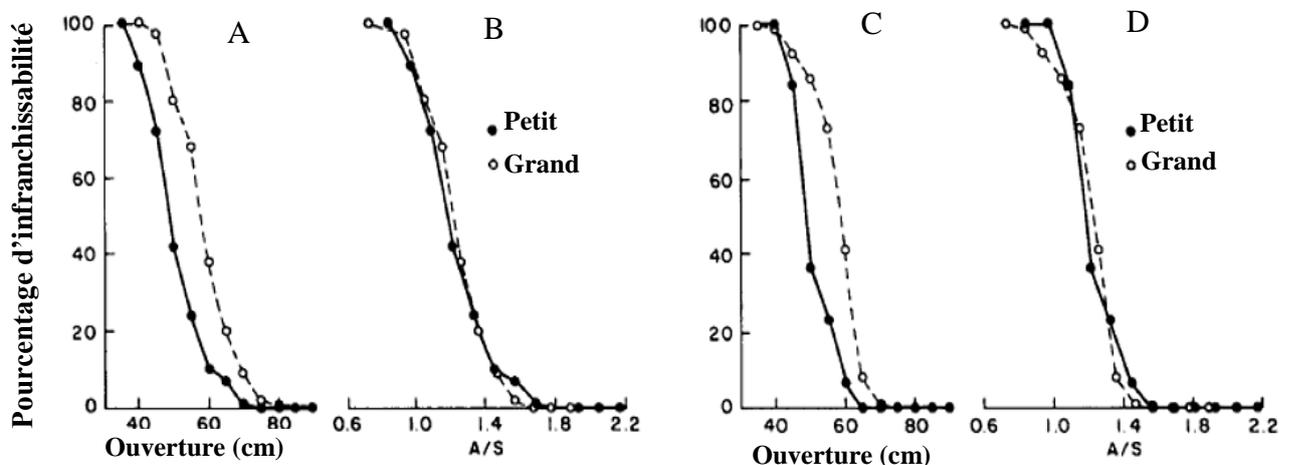


Figure 8 : Pourcentages moyen de jugements « infranchissable » réalisés par les groupes de petite (●) ou de grande largeur d'épaules (○), dans une condition de jugement statique (A et B) ou en mouvement (C et D) et exprimés en fonction d'une mesure extrinsèque (A et C, cm) ou intrinsèque (B et D, %). Graphique tiré de Warren et Whang (1987)

Ces résultats mettent en évidence la capacité des individus à percevoir des *affordances* dimensionnées à des propriétés anthropométriques. La sélection d'un mode d'action est ainsi sous-tendue par la détection d'une information dimensionnée en fonction de la hauteur des yeux de l'observateur et accessible visuellement dans la configuration optique.

D'autres recherches se sont intéressées à de telles propriétés de la relation agent-environnement dans lesquelles la prise de décision s'appuie sur la perception d'*affordances* dimensionnées à des propriétés anthropométriques dans des tâches aussi diverses que l'« atteignabilité » de cibles ou d'objets (Carello *et al.*, 1989; Huang, Ellis, Wagenaar, & Fethers, 2013), la « franchissabilité » d'obstacles (Cornus, Montagne, & Laurent, 1999; Stefanucci & Geuss, 2010; Wagman & Malek, 2008), la « montabilité » de marches (Kinsella-Shaw, Shaw, & Turvey, 1992; Maraj, 2003; Mark, 1987; Mark & Voogele, 1987; Sato & Yoshimoto, 2008) ou encore la « passabilité » de portes ou d'ouvertures (Stefanucci & Geuss, 2009; White & Shockley, 2005; Wraga, 1999).

Depuis ces études princeps en matière d'*affordance* dimensionnée à des propriétés anthropométriques, d'autres chercheurs ont enrichi la compréhension du comportement de prise de décision de l'acteur. Parmi ces dernières, il convient de citer les travaux de Mark (1987) dans lesquels la perception d'une *affordance* d'atteignabilité est étudiée. L'auteur montre que le passage d'un mode d'action vers un autre peut se produire avant que le ratio π n'ait atteint le point critique. Mark introduit l'expression de « limite critique préférée » par opposition à la limite critique absolue de Warren (1984). Mark explique le choix d'un mode d'action anticipé par une volonté de l'individu de minimiser l'énergie dépensée durant l'action. Un autre aspect très intéressant de cette étude et en lien direct avec notre problématique de recherche, est la démonstration d'une prise en compte de propriétés variées dans la sélection d'un mode d'action. Il ne s'agit plus uniquement de dimensionner des propriétés de l'environnement en fonction de propriétés anthropométriques statiques mais également de les dimensionner aux capacités d'action de l'individu, capables d'améliorer la pertinence du mode d'action choisi dans la réalisation de l'action.

De nombreuses recherches vont s'emparer de ce nouvel objet d'étude consistant à prendre en compte des propriétés dynamiques de l'individu percevant. La prise en compte de propriétés biomécaniques de l'individu, telles que la force ou la souplesse notamment, variables en fonction de l'âge ou le mode d'action sélectionné (Carello *et al.*, 1989; Cole, Chan, Vereijken, & Adolph, 2013; Cornus, 1998, pp. 31–32), mais également l'activité motrice (e.g., marche, course, etc.) de l'individu au moment où il perçoit (Franchak, Celano, & Adolph, 2012; Franchak, van der Zalm, & Adolph, 2010; Oudejans, Michaels, Bakker, & Dolné, 1996; Oudejans, Michaels, van Dort, & Frissen, 1996; Wagman & Malek, 2007; Wilmut & Barnett, 2010, 2011) connaissent des enjeux théoriques majeurs.

Dès lors, les chercheurs vont élargir les dimensionnements de l'*affordance* en intégrant les propriétés dynamiques de l'acteur directement dimensionnées à l'action dans le but d'affiner la compréhension du comportement de prise de décision. Ainsi s'agit-il à présent d'étudier les recherches qui amènent un nouvel enrichissement des *affordances* et par la même des propriétés en jeu.

RÉSUMÉ :

- Nous avons dressé l'inventaire des principales études ayant mis en évidence la prise en compte d'*affordances* dimensionnées à des propriétés anthropométriques dans le comportement de prise de décision et donc dans la sélection d'un mode d'action adapté à une situation donnée.
- Ces études ont notamment montré que la prise de décision de l'acteur dépendait de la valeur du ratio π (Warren, 1984), formée par la relation entre une propriété de l'environnement (e.g. hauteur de marche) ou du système agent-environnement et une propriété anthropométrique de l'agent (e.g., longueur de jambe). Le point de transition d'un mode d'action vers un autre (e.g., bipédie vers quadrupédie) se produit à une valeur dite critique.

1.2.1.2.2 *Prise de décision et affordance dimensionnée à l'action*

Dans un très grand nombre de situations quotidiennes (e.g., évitement d'obstacle pendant la marche, navigation dans un environnement routier complexe, etc.) les individus doivent connaître les capacités de mouvement de leurs corps, ou encore les capacités des appareils motorisés qu'ils conduisent – qualifiées de capacités d'action – pour agir avec réussite dans leur environnement. Comme le soulignent Fajen et Matthis (2011), les piétons doivent connaître leurs capacités locomotrices pour décider de traverser une rue ou alors patienter pour laisser passer le véhicule, s'ils estiment que leur vitesse de marche ne sera pas suffisante pour éviter la collision (Oudejans, Michaels, van Dort, *et al.*, 1996; Plumert, Kearney, & Cremer, 2007; te Velde, van der Kamp, Barela, & Savelsbergh, 2005).

De la même façon, les conducteurs automobiles doivent connaître très précisément les capacités d'action de leurs véhicules, définies en termes de propriétés cinématiques (e.g., capacités d'accélération, de freinage, etc.) au moment de décider de l'initiation d'un dépassement ou d'un freinage pour éviter un obstacle ou un véhicule plus lent (Fajen, 2005c, 2007b). Ces quelques exemples d'activités perceptivo-motrices soulignent l'importance de percevoir l'environnement en relation avec ses capacités d'action réelles, i.e., percevoir quelles actions sont possibles compte tenu de ses limites d'action. De ce fait, en raison d'un grand nombre de propriétés intrinsèques à l'individu susceptibles d'intervenir dans la définition d'une *affordance*, les auteurs préfèrent ainsi formaliser ces propriétés étudiées en termes de capacités d'action réelles (i.e., dimensionnement par l'action : Fajen, 2005a; Fajen et al., 2009; J. J. Gibson, 1986; Turvey, 1992; Warren, 1988) plutôt que par une mesure anthropométrique (i.e., dimensionnement corporel : Warren & Whang, 1987; Warren, 1984).

Les premières études à s'être interrogées sur l'apport de propriétés dimensionnées à l'action, ont mis en évidence, à travers des tâches de jugements de montabilité notamment, la prise en compte de propriétés intrinsèques telles que la cinétique des individus (e.g., élasticité musculaire, flexibilité des membres en fonction de l'âge) dans l'exécution de l'action. Les *affordances* ainsi perçues étaient donc à la fois dimensionnées à des propriétés anthropométriques (i.e., dépendantes du ratio hauteur de marche / longueur de jambe), comme c'était déjà le cas dans les études traditionnelles, mais également dimensionnées à l'action.

Dès lors, de nombreuses études dont celle de Meeuwsen (1991) ont entrepris l'identification de telles propriétés dynamiques. À travers une tâche similaire à celle de Warren (1984), i.e., estimer le caractère montable d'une marche réalisable à l'aide d'un mode d'action bipédique, Meeuwsen s'interroge sur les propriétés susceptibles d'affecter la perception des possibilités d'action lors de la montée de marche. Dans son étude, le chercheur a donc identifié les effets de la mobilité des articulations de hanches et de la force des jambes sur les possibilités d'action perçues et atteintes (absolue ou relative, i.e., hauteur de la contremarche divisée par la longueur de jambe) dans la montée de marche en mode bipédique. D'après l'auteur, si les limites d'action sont directement perçues et si l'action est intimement liée à la perception, on devrait être capable de quantifier ces limites d'action (Warren, 1984) et d'identifier quelles propriétés peuvent les affecter.

Les résultats mettent en évidence que les jugements des sujets sont affectés par la souplesse des articulations de hanches. Par ailleurs, Meeuwsen montre que la force

musculaire de la jambe affecte également la perception des possibilités d'action absolue et relative des individus. À travers ces résultats, l'auteur a mis en évidence que des propriétés cinétiques modifiaient la perception des *affordances* de montabilité.

À la suite de cette étude, Konczak, Meeuwsen, et Cress (1992) ont également associé des *affordances* dimensionnées à l'action aux *affordances* dimensionnées à des propriétés anthropométriques en considérant l'âge des individus. Konczak *et al.* (1992) ont étudié le lien entre longueur de jambe, flexibilité de hanche, force de jambe et perception des *affordances* de montée de marches chez des sujets âgés, comparés à des sujets jeunes. Dans cette expérimentation, les sujets étaient soumis à trois contraintes biomécaniques : la longueur de jambe suffisante pour monter la marche ; la force musculaire de la jambe et la flexibilité de hanche pour placer le pied sur la marche ; la force musculaire de la jambe pour hisser le corps sur la marche (Figure 9). La perception de l'*affordance* de montabilité des marches nécessite donc de mettre en relation les propriétés de l'environnement et les propriétés anthropométriques des sujets mais aussi de considérer les propriétés biomécaniques (i.e., force et souplesse) variant en fonction de l'âge des participants.

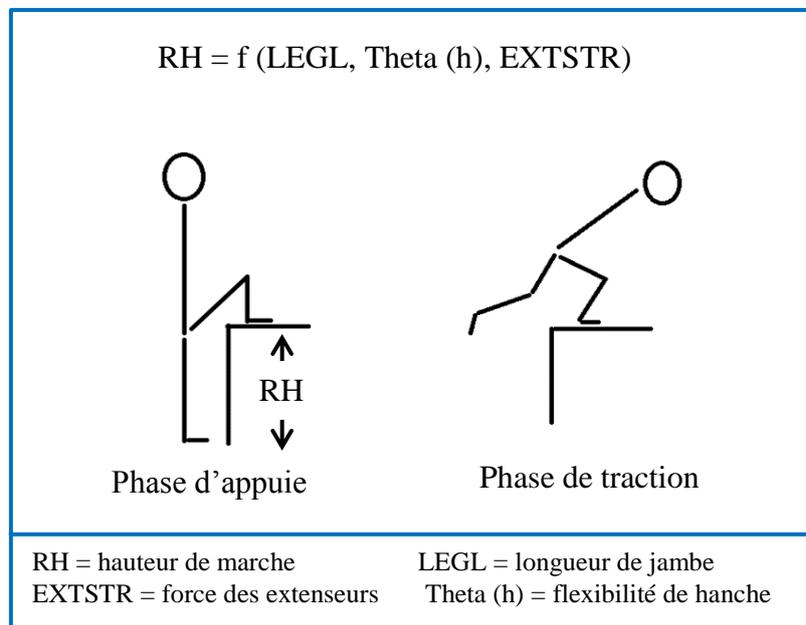


Figure 9 : Représentation des deux phases du franchissement de marche. L'atteinte de la hauteur de marche est fonction de la longueur de jambe (LEGL), de la flexibilité de hanche (Theta (h)), et de la force des jambes (EXTSTR). Représentation tirée de Konczak *et al.* (1992)

Les résultats révèlent des scores très proches, pour un même groupe d'individus, entre la perception des possibilités de monter une marche et les réelles capacités des individus à la gravir (Figure 10). Une différence plus marquée est toutefois présente pour les jeunes adultes en comparaison aux sujets âgés. Presque deux tiers des sujets âgés ont une relation correcte entre ce qu'ils perçoivent et leurs capacités d'action réelles. En revanche, seulement un tiers des jeunes adultes ont une relation correcte entre leurs jugements perceptifs et leurs capacités d'action réelles. Konczak *et al.* (1992) expliquent cette différence par le fait que l'étendue des capacités d'action des sujets âgés est plus réduite, ils sont donc davantage sensibles aux changements des propriétés des objets. De plus, une mauvaise perception de l'*affordance* de montée de marche aurait des conséquences bien plus graves chez ce type de population que chez les jeunes adultes (e.g., fracture de hanche).

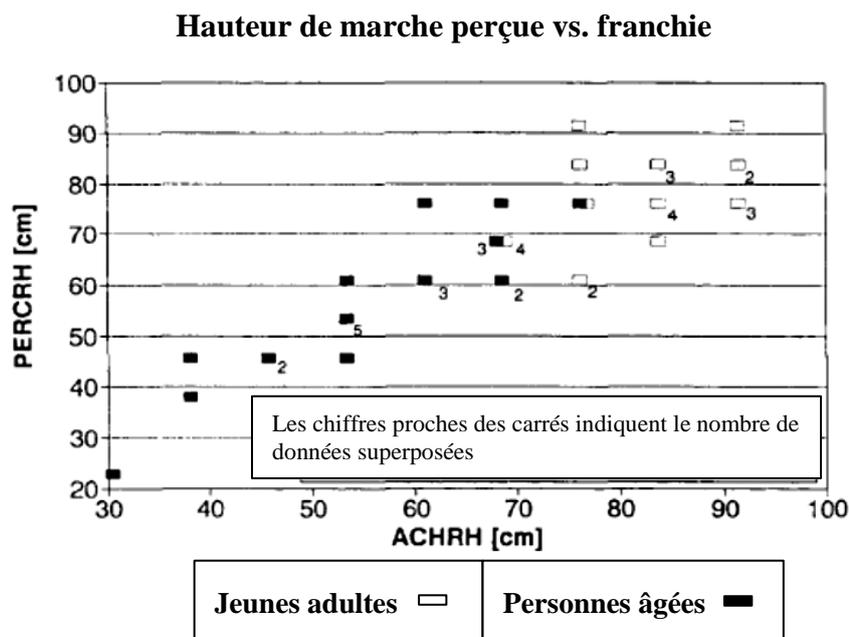


Figure 10: Hauteur de marche perçue (PERCRH) exprimée en fonction de la hauteur de marche franchie (ACHRH). Les jeunes adultes sont représentés par des rectangles blancs et les personnes âgées par des rectangles noirs. Graphique tiré de Konczak *et al.* (1992).

Par ailleurs, la meilleure adéquation des jugements perceptifs est obtenue lorsque la régression sur la performance des individus intègre leurs propriétés biomécaniques telles que la souplesse des articulations de hanche ou la force des extenseurs de jambes dépendantes de l'âge des participants. En résumé, Konczak *et al.* ont montré que la perception de la montabilité des marches et la sélection de modes d'action est fonction des multiples

contraintes biomécaniques dont certaines dépendent de propriétés anthropométriques et d'autres de propriétés cinématiques ou cinétiques.

D'autres études abordant la question de la perception des *affordances* d'« atteignabilité », dont celle de Mark *et al.* (1997), ont également entrepris l'identification de propriétés dimensionnées à l'action. À travers une tâche d'atteinte de cible réalisable à l'aide de différents modes d'action (e.g., avec le bras seul, en se penchant en avant, en étendant l'épaule), les chercheurs questionnent la perception d'une *affordance* d'atteignabilité. Comment expliquer la prise de décision d'un individu lorsque plusieurs modes d'action coexistent, alors même que les valeurs critiques du ratio π n'ont pas encore été atteintes (cf. Warren, 1984) ? Mark *et al.* démontrent que la prise de décision des individus dépend de propriétés dimensionnées à l'action, telles que la minimisation de l'énergie dépensée. Par ailleurs, ils qualifient la valeur correspondante à cette prise de décision anticipée de limite critique préférée par opposition à la limite critique absolue dépendante du ratio π , définie par Warren (1984). Par cette étude, Mark *et al.* étendent les propriétés prises en compte par les individus lors de la perception d'une *affordance* et de ce fait, enrichissent les propriétés du système agent-environnement à considérer. Les résultats présentés améliorent la compréhension du comportement de prise de décision.

Une étude plus récente de Pepping et Li (2000) confirme la prise en compte de propriétés dimensionnées à l'action dans l'exécution d'une action d'atteinte en volley-ball. Il était demandé aux participants de sauter pour atteindre un objet situé à différentes hauteurs. Au moyen d'une ceinture lestée, les expérimentateurs ont augmenté de 10% le poids des participants. Pepping et Li montrent que la hauteur maximale jugée comme atteignable par les participants varie en fonction de l'augmentation de leur poids. Les auteurs mettent en évidence l'adaptation perceptivo-motrice des participants conformément aux changements de leurs capacités d'atteinte du fait du lestage. Cette adaptation est rendue possible par la perception de propriétés extrinsèques (e.g., hauteur des objets) mise en relation avec des propriétés intrinsèques aux participants, relatives à la fois aux dimensionnements corporels, mais également aux dimensionnements de l'action. Les participants sont alors capables de percevoir la dynamique de leurs capacités d'action à travers une *affordance* d'atteignabilité dimensionnée à l'action.

L'étude de Weast, Shockley et Riley (2011) fait écho aux résultats de Pepping et Li (2000), Regia-Corte et Wagman (2008), ou encore de Cesari, Formenti, et Olivato (2003), relatifs aux dimensionnements de l'*affordance* à des propriétés dynamiques du sujet (e.g., vitesse de course, élasticité de la jambe, fatigue musculaire). Les auteurs ont également mis en évidence l'influence de l'expérience dans la perception d'une *affordance* d'atteignabilité, dans la lignée d'Oudejans, Michaels, et Bakker (1997).

Dans la première expérimentation, des joueurs de basketball et des joueurs novices ont fourni des estimations perceptives sur des *affordances* les concernant et concernant les autres joueurs dans des actions spécifiques à ce sport (atteinte maximum debout et hauteur d'atteinte en sautant, Figure 11A) et non spécifiques (hauteur d'assise maximum, Figure 11B). L'étude a montré que les joueurs de basketball étaient plus précis dans la perception d'*affordances* dimensionnées à des propriétés cinématiques – pour d'autres joueurs – liées à leur sport que ne l'étaient les joueurs novices. En revanche, ils n'étaient pas meilleurs lorsqu'il s'agissait des *affordances* dimensionnées à des propriétés anthropométriques, à la fois spécifiques et non spécifiques au basket-ball.

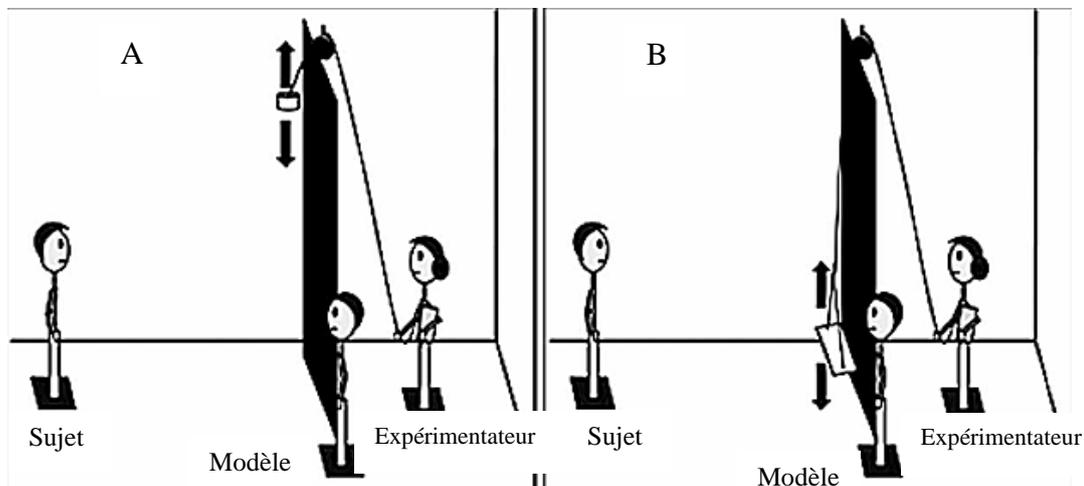


Figure 11 : Le dispositif expérimental comprend la position du sujet (joueur de basket-ball ou non), le modèle (non joueur de basket-ball) et l'expérimentateur qui manipulait les conditions d'atteinte de la cible spécifique au basket-ball (estimation d'atteinte maximum de la cible en étant debout, debout et autorisé à sauter, Panneau A) et non-spécifique au basket-ball (estimation d'atteinte maximum de la hauteur d'assise, Panneau B)¹². Équipements et dispositifs expérimentaux tirés de Weast et al. (2011).

¹² Ce dispositif fait référence à Mark (1987), Stoffregen, Gorday, Sheng, & Flynn (1999), Ramenzoni, Riley, Davis, Shockley, & Armstrong (2008), Ramenzoni, Riley, Shockley, & Davis (2008a, 2008b).

Dans la seconde expérimentation, Weast *et al.* (2011) se sont intéressés aux propriétés susceptibles d'améliorer l'habileté des joueurs de basket-ball à percevoir la hauteur d'atteinte d'un saut (*affordance* dimensionnée à l'action spécifique) d'autres joueurs (co-équipiers ou adversaires). Pour ce faire, les auteurs ont évalué si les propriétés cinématiques du patron de marche d'un joueur informaient davantage les participants sur des *affordances* dimensionnées à l'action (hauteur d'atteinte en sautant) plutôt que sur des *affordances* dimensionnées à des propriétés anthropométriques (atteinte maximum debout et assise). Il s'agissait également d'évaluer si l'expérience améliorerait la sensibilité des joueurs à ces propriétés cinématiques. Les auteurs ont démontré que seule la perception d'*affordance* dimensionnée à l'action, i.e., à des propriétés cinématiques, était améliorée après une exposition au patron de marche d'un joueur. Par ailleurs, les résultats mettent en évidence que seuls les joueurs de basketball ont amélioré leur perception d'une *affordance* dimensionnée à l'action avec l'exposition à une propriété cinématique. Ces résultats confirment que ce type d'*affordance* est spécifié par des propriétés relationnelles d'ordre cinématique relatives à la vitesse de marche ou au patron de marche des joueurs de basket-ball, par exemple. Enfin, les résultats démontrent que les joueurs de basket-ball ont plus facilement accès aux propriétés cinématiques pour lesquelles ils sont déjà éduqués en vertu de leur expérience sportive.

Par ailleurs, une des recherches princeps à avoir étudié la capacité des sportifs à percevoir leurs possibilités d'action réelles a été élaborée par Oudejans *et al.* (1996). L'étude consiste à projeter des balles de tennis en l'air, en face et derrière le participant, en faisant varier la durée de vol de la balle ainsi que son lieu de retombée. Il est demandé aux participants, dans une première condition (condition perceptive) de juger l'attrapabilité de la balle sans bouger. Dans une seconde condition (condition d'atteinte de balles), il est demandé aux participants d'essayer d'attraper les balles. Oudejans *et al.* ont démontré que les jugements d'attrapabilité de balle correspondent précisément à leur capacité d'attrapabilité réelle à condition que les participants soient autorisés à bouger pendant un temps très bref (1s) avant leur jugement. Cette étude révèle que les participants sont capables de percevoir les *affordances* dimensionnées à leurs capacités d'action, définies dans des propriétés cinématiques, tout comme ils peuvent percevoir des *affordances* dimensionnées à leurs dimensions corporelles.

De nombreux autres chercheurs ont étudié la prise en compte des capacités d'action individuelles dans la sélection des modes d'action, à partir de tâches sportives (Dicks, Davids,

& Button, 2010; Paterson, van der Kamp, Bressan, & Savelsbergh, 2013) ou encore de traversées d'intersection (Chihak *et al.*, 2010; Grechkin, Chihak, Cremer, Kearney, & Plumert, 2013; Oudejans, Michaels, van Dort, *et al.*, 1996; Plumert, Kearney, & Cremer, 2004; Plumert *et al.*, 2007; Plumert, Kearney, Cremer, Recker, & Strutt, 2011; te Velde *et al.*, 2005). Dans certaines études, les capacités d'action dépendent des développements perceptivo-moteurs (Chihak *et al.*, 2010; Ishak, Franchak, & Adolph, 2014; Plumert *et al.*, 2004, 2007, 2011) de l'individu et semblent confirmer que la perception des *affordances* dimensionnées à l'action est liée à une certaine expérience dans l'exploration de l'environnement nécessaire à la calibration perceptivo-motrice de l'individu.

Fajen (2005a, 2005b, 2005c, 2007a) s'est emparé de cette problématique et a montré que la perception d'une *affordance* dimensionnée à l'action n'est pas seulement importante pour prendre une décision quant au mode d'action à utiliser (i.e., essayer de traverser ou attendre), mais elle est également importante dans le contrôle en ligne de l'action (Warren, 1984, 1988). D'après Fajen (2009), le contrôle en ligne est indispensable car les capacités d'action individuelles constituent des contraintes critiques à la réussite de la tâche. Ceci ne va pas à l'encontre d'une certaine flexibilité comportementale. Comme le soulignent Fajen *et al.* (2011), un receveur au football américain peut démarrer lentement sa course, accélérer progressivement et attraper la balle tout en courant ou alors démarrer très rapidement, se positionner à l'emplacement prévu de retombée de la balle et attendre que cette dernière retombe. Il pourra également suivre une trajectoire rectiligne ou alors suivre une trajectoire courbe. En d'autres termes, la seule condition de réussite pour le receveur de football américain sera de se déplacer de sorte que la vitesse minimum satisfaisante pour attraper la balle ne dépasse jamais sa vitesse maximale de course. Le joueur devra donc se déplacer de façon à rendre l'atteinte du ballon toujours possible. Fajen *et al.* mettent ainsi en évidence la capacité des individus à contrôler leurs actions en percevant une *affordance* dimensionnée à partir de propriétés cinématiques.

Nous nous proposons à présent d'approfondir cet aspect et d'en discuter les enjeux.

RÉSUMÉ :

- L'ensemble des études présentées jusqu'à présent révèle la capacité des individus à prendre des décisions (e.g. à sélectionner un mode d'action) adaptées aux contraintes de l'environnement en percevant des *affordances* dimensionnées à l'action (i.e., propriétés cinématiques, énergiques de l'individu).
- Il est apparu que la réussite d'une tâche de traversée d'intersection (Chihak *et al.*, 2010; Louveton, Bootsma, Guerin, Berthelon, & Montagne, 2012) ou de franchissement d'ouverture dynamique (Fajen & Matthis, 2011), par exemple, requiert un contrôle en ligne de l'action. Dans une situation où les propriétés du système agent-environnement évoluent, il est indispensable pour l'individu de percevoir si ses capacités d'action suffiront à répondre aux contraintes de la tâche.

1.2.1.2.3 Prise de décision et régulation de l'action : l'enjeu de l'affordance dimensionnée à l'action

Dans les parties précédentes nous avons orienté notre propos sur la capacité des individus à percevoir les possibilités d'action – i.e., les *affordances* – offertes par l'environnement pour prendre une décision – i.e., sélectionner un mode d'action – appropriée aux contraintes de la tâche et ainsi agir avec réussite. Comme l'ont mis en évidence de nombreuses études, suivant les contraintes environnementales rencontrées et la nature du problème à résoudre (e.g., franchir une porte, attraper une balle, ou traverser une intersection) les individus sont en mesure de percevoir des *affordances* dimensionnées à l'action, à partir de propriétés cinématiques.

Le comportement de prise de décision n'est toutefois pas le seul comportement rendu possible par la perception des *affordances* dimensionnées à l'action. Depuis quelques années, de nombreuses études ont mis en évidence la capacité des individus à guider et à contrôler visuellement leur action de façon à maintenir (i.e., réguler) un « état idéal » en deçà de leurs capacités d'action maximales par la perception d'*affordances* dimensionnées à l'action

(Bastin et al., 2010; Fajen, 2005a, 2005b, 2005c, 2007a, 2007b, 2008a, 2008b; Fajen et al., 2011; Fajen & Matthis, 2011). Le terme « état idéal », employé ici par Fajen, représente la propriété pertinente du système agent-environnement qui est mise en relation avec les capacités d'action de l'individu afin de sélectionner ou de réguler un mode d'action. En l'occurrence, dans le cadre des études de Fajen, il s'agit d'une décélération idéale mise en relation avec les capacités de décélération maximale du véhicule conduit afin de produire un freinage approprié.

Fajen (2007a) conceptualise ce comportement de guidage visuel de l'action à travers l'*affordance-based control*. Cette nouvelle conceptualisation de l'*affordance* fait également écho aux propositions de Warren (1988). D'après Warren, la question de l'*affordance* et du contrôle de l'action sont deux éléments distincts. Il postule que l'individu opte dans un premier temps pour un mode d'action en percevant une *affordance*. Une fois le mode d'action sélectionné, l'action est régulée sur la base d'une loi de contrôle spécifique. Dès lors, comme le souligne Stoffregen (2000), l'*affordance* semble être exclusivement destinée à la sélection des comportements plutôt qu'au contrôle en ligne de l'action.

Fort de ce constat, Fajen démontre à travers plusieurs études que l'*affordance* doit être comprise comme un *continuum* entre la sélection d'un mode d'action et le contrôle en ligne de l'action. Fajen ajoute également une dimension temporelle au contrôle en ligne de l'action en précisant que l'état idéal – propriété pertinente du système agent-environnement – peut dépasser les limites d'action individuelle (Figure 12) rendant impossible la réussite de l'action. Une limite d'action représente une capacité d'action maximale définie dans une unité physique (e.g., vitesse, accélération, etc.) au-delà de laquelle un individu n'est plus en mesure de réguler son état courant pour réussir une action. Par exemple, un individu conduisant un véhicule avec une capacité de freinage maximale de 7 m/s^2 ne pourra pas éviter la collision avec un obstacle si la condition nécessaire est un freinage supérieur à 7 m/s^2 . Le conducteur ne pourra alors plus réguler son freinage (i.e., son état courant), dans le but de maintenir un freinage idéal (i.e., son état idéal) en deçà de sa limite de freinage maximale, i.e., sa limite d'action (Figure 12). Tout l'enjeu de récentes études est ainsi de démontrer que le conducteur prend la décision d'agir et de réguler son action par la perception de possibilités d'action l'informant en temps réelle de la faisabilité d'une action. En d'autres termes, le comportement moteur du conducteur répondrait à un processus perceptif simplifié ayant comme objet l'*affordance*. Ce dernier traduit des stratégies motrices plus complexes de régulation de l'état

courant afin de maintenir un état idéal dans une région de confort bornée par les limites d'action – e.g., décélération maximale – du véhicule conduit.

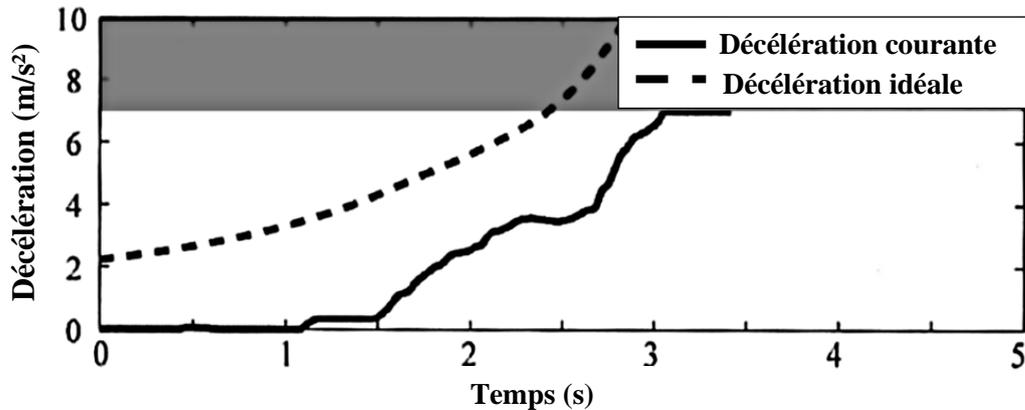


Figure 12 : Décélération courante (-) et idéale (- -) d'un conducteur lors d'une tâche de freinage. Dans cette situation, le conducteur n'est pas parvenu à maintenir la décélération idéale en deçà de sa capacité d'action maximale (7 m/s^2), il entre ainsi en collision avec l'obstacle. Graphique tiré de Fajen (2005a)

Dans une série d'études relatives à des tâches de freinage (Fajen, 2005a, 2005c, 2007b, 2008a, 2008b; Fajen & Devaney, 2006) et à la perception des possibilités de décélération du conducteur (Fajen, 2005b), Fajen met en évidence la remarquable capacité des conducteurs à contrôler en ligne leur état courant – décélération courante – de façon à maintenir l'état idéal – ou décélération idéale – à l'intérieur d'une zone circonscrite par les limites d'action du véhicule – i.e., les capacités de freinage maximales (Figure 13). Pour ce faire, certains conducteurs ont adopté un style dit conservateur (Figure 13A) en freinant le plus rapidement possible de manière à circonscrire toute augmentation de la décélération idéale (en pointillé sur la figure) et ainsi éviter d'entrer en collision avec l'obstacle. Comme nous le montre, la Figure 13A, le conducteur initie son freinage courant (en trait plein sur la figure) suite à l'augmentation de la décélération idéale, ce qui permet d'éviter toute collision avec l'obstacle. La prise de décision du conducteur est suivie par une régulation du freinage courant autour de la décélération idéale. D'autres conducteurs, quant à eux, ont adopté un style de contrôle qualifié d'agressif en attendant le dernier moment avant que la décélération idéale ne dépasse leur décélération maximale pour freiner (Figure 13B). Comme nous le montre cette figure, le conducteur initie son freinage courant (en trait plein sur la figure) suite à l'augmentation sévère de la décélération idéale se rapprochant de la limite de décélération du conducteur. La prise de décision du conducteur est alors suivie par le maintien du freinage courant à hauteur du freinage maximal.

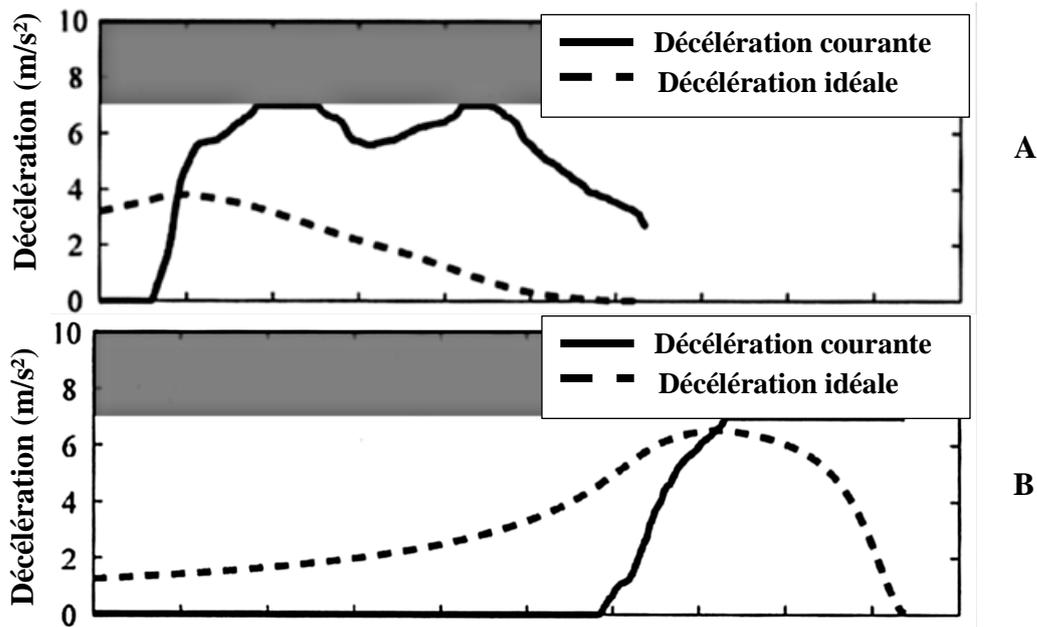


Figure 13 : Décélération courante (-) et idéale (- -) d'un conducteur lors d'une tâche de freinage. Dans cette situation (A), le conducteur adopte un style conservateur en maintenant le plus tôt possible la décélération idéale en deçà de sa capacité d'action maximale (7 m/s²). Il entre ainsi en collision avec l'obstacle. (B) D'autres conducteurs ont adopté un style agressif de contrôle en ligne du freinage en choisissant le dernier moment pour rattraper la décélération idéale et ainsi éviter d'entrer en collision avec l'obstacle. Graphique tiré de Fajen (2005a)

À travers ces expérimentations, Fajen démontre que la perception d'une *affordance* dimensionnée à l'action, à partir de propriétés cinématiques, permet non seulement de sélectionner un mode d'action approprié, mais également de réguler l'action en cours d'exécution. En outre, à travers ces différentes études sur le freinage (2005a, 2005c, 2007b), Fajen met en exergue la capacité des conducteurs à réussir la tâche de freinage malgré des manipulations des capacités de freinage des véhicules entre chacun des blocs d'essais (e.g., manipulation de la relation entre la force exercée sur le frein et le freinage effectif). Les participants ont réussi à s'arrêter avant l'obstacle en recalibrant leurs capacités d'action à mesure qu'ils interagissaient avec leur environnement. La calibration du système perceptivo-moteur au cours de l'action est en ce sens primordiale pour avoir accès aux limites d'action.

D'après Fajen (2007a) notamment, la calibration est définie comme un processus qui transforme la métrique dans laquelle l'information est détectée, en établissant une correspondance entre l'information et le mouvement. Une fois cette correspondance établie, les individus peuvent percevoir de manière fiable qu'une action est ou n'est pas dans leurs capacités – à partir des conséquences optiques de leurs mouvements – et peuvent ainsi contrôler leurs actions afin de les maintenir en deçà de leurs capacités d'action maximales.

Cela signifie que pour un individu engagé dans une action visuellement guidée, les seules unités significatives pour lui sont celles définies par ses capacités d'action. En l'occurrence, dans une tâche de freinage, il s'agira de la décélération maximale du véhicule conduit définie sur la base de propriétés cinématiques (Figure 13).

Par exemple, si le conducteur est correctement calibré il ne percevra pas une décélération idéale en unité extrinsèque (e.g., 4 m/s^2), définie indépendamment du conducteur et donc sans signification pour ce dernier. Au contraire, si la décélération maximale du conducteur est égale à 10 m/s^2 le conducteur percevra une décélération idéale égale à 40% de sa décélération maximale, à l'exemple du ratio π (Warren, 1984). Des résultats expérimentaux (Fajen, 2005a, 2005c) viennent confirmer la calibration perceptivo-motrice des conducteurs lors d'une tâche de freinage. Trois groupes de conducteurs possédant chacun une décélération maximale différente (5 , 7 et 9 m/s^2) avaient pour consigne de s'arrêter aussi près que possible d'une cible représentée par le panneau stop. Si l'information spécifiant la décélération idéale est perçue en référence à la décélération maximale des conducteurs, nous devrions observer des différences comportementales intergroupes en mesure extrinsèque (i.e., en m/s^2 , Figure 14A) qui s'estomperaient dès lors que les données comportementales sont exprimées en unité intrinsèque (i.e., en %, Figure 14B).

Afin de valider cette hypothèse, Fajen exprime les pourcentages d'ajustement du freinage résultant d'une augmentation de la décélération des conducteurs en fonction de la décélération idéale prise au début de l'ajustement du freinage. Conformément à l'hypothèse initiale, des différences entre les groupes de participants sont observées lorsque les pourcentages d'ajustement sont exprimés en référence à la décélération idéale à produire (Figure 14A). Plus précisément, plus la décélération maximale du conducteur est faible, plus ce dernier produit des ajustements de freinage afin de maintenir la décélération idéale en deçà de sa décélération maximale. Toutefois, aucune différence significative ne subsiste lorsque les pourcentages d'ajustement sont exprimés en référence à la décélération maximale des conducteurs (Figure 14B). Les conducteurs produisent des ajustements identiques dans leur freinage lorsqu'on les considère en référence à la capacité de freinage maximale.

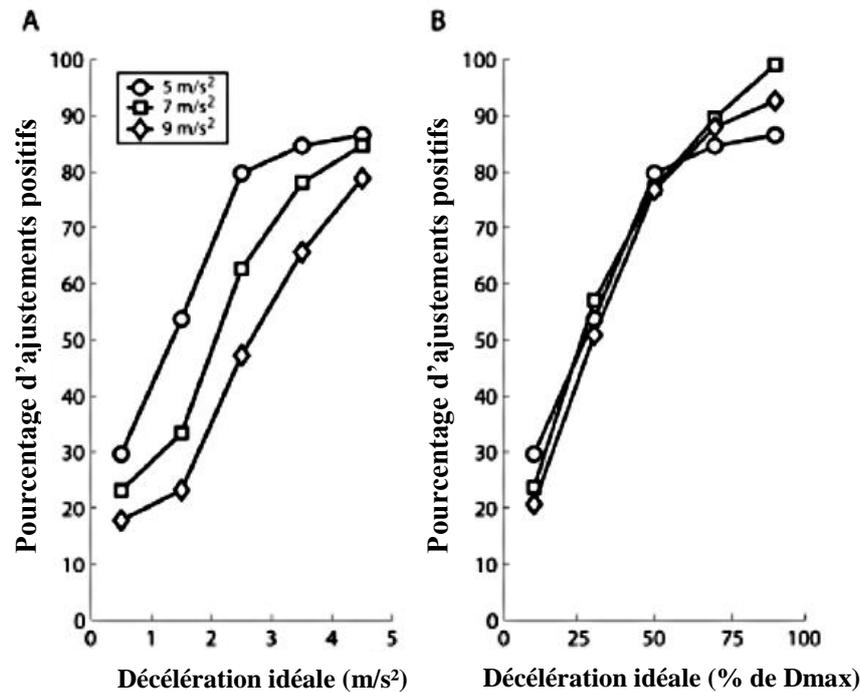


Figure 14 : Pourcentages d'ajustements du freinage des conducteurs exprimés en fonction de la décélération idéale prise au début de l'ajustement du freinage, dans une unité extrinsèque (Panneau A, m/s^2), et exprimés en fonction de la même décélération idéale prise en référence à la décélération maximale des conducteurs, dans une unité intrinsèque (Panneau B, %). D_{max} : décélération maximale. Graphique tiré de Fajen (2005c)

Dans le cadre de ma thèse, les deux premiers chapitres expérimentaux (cf. pp. 70-103) se concentreront majoritairement sur l'aspect décisionnel de l'*affordance* dimensionnée à l'action, à partir de propriétés cinématiques et en utilisant la formalisation de Warren (1984). Le troisième chapitre expérimental (cf. p. 131) testera la capacité du cadre proposé par Fajen (2005a, 2005c) à rendre compte à la fois des processus de prise de décision et de régulation de l'action dans des tâches de dépassement automobile.

Fort de ce constat, il s'agit à présent d'appliquer le cadre de la théorie écologique de la perception et de l'action à des situations de dépassement automobile. Une étape indispensable consistera à identifier les propriétés du système agent-environnement à même de décrire les mécanismes perceptivo-moteurs sous-jacents au dépassement.

RÉSUMÉ :

- L'enjeu de cette partie était de s'interroger sur la capacité des *affordances* dimensionnées à l'action à permettre non seulement la sélection d'un mode d'action mais aussi le contrôle en ligne de l'action, en s'appuyant sur des propriétés cinématiques.
- D'après Fajen (2007a), les individus se meuvent dans un environnement de sorte à maintenir un état « idéal » dans une région dite sécurisée délimitée par leurs limites d'action.
- Comme nous l'avons montré à travers différentes études, une *affordance* dimensionnée à l'action parvient à rendre compte de la sélection et du contrôle de l'action d'un individu dans une grande diversité de comportements (e.g. freinage, passage d'ouverture de porte, interception d'objets) en considérant les limites d'action individuelles définies par des propriétés cinématiques (e.g. vitesse de marche maximale, décélération maximale d'un véhicule, etc.).

1.2.2 Le dépassement automobile : analyse des mécanismes perceptivo-moteurs à travers le prisme écologique

Contrairement aux précédentes recherches (cf pp.8-13) qui ont étudié la prise de décision et la réalisation du dépassement automobile de façon « modulaire » – i.e., avec une conception séquentialisée de l'action – et non holistique du comportement, il convient d'analyser la tâche de dépassement et les mécanismes perceptivo-moteurs en jeu à travers le prisme de la théorie des *affordances*. Comment cette théorie peut-elle rendre compte du comportement de dépassement automobile ? Comment formaliser les propriétés du système agent-environnement ainsi que les propriétés de l'agent ? À travers un même scénario de dépassement, nous proposerons et analyserons différentes propriétés d'intérêt à considérer dans la formalisation d'une *affordance*, sous-jacentes aux processus d'initiation et de

réalisation d'un dépassement. L'ensemble des situations automobiles présentées ci-après, serviront de véritable fil de conducteur aux chapitres expérimentaux.

Pour ce faire, il convient tout d'abord de définir des situations automobiles relativement simplifiées, en figeant certains degrés de liberté tels que la circulation de véhicules en sens inverse, afin de nous assurer de la pertinence des propriétés modélisées dans la prise de décision du conducteur et la réalisation du dépassement. Dans un premier temps, nous proposerons de formaliser des propriétés d'intérêt liées à la vitesse du véhicule conduit. Ces propriétés d'ordre cinématique sont suffisamment macroscopiques pour vérifier la sensibilité des conducteurs aux *affordances* ainsi formalisées. Dans un deuxième temps, nous proposerons d'enrichir les propriétés d'intérêt précédemment formalisées par de nouvelles propriétés, moins macroscopiques, liées à l'accélération du véhicule conduit, censées rendre compte plus fidèlement des propriétés en jeu lors du dépassement. Enfin, dans un dernier temps et en nous rapprochant davantage du réalisme du dépassement, nous formaliserons des propriétés d'intérêt, caractérisées par les capacités d'accélération propres au rapport de vitesse du véhicule conduit. Nous interrogerons, de ce fait, la capacité des individus à avoir accès à des capacités d'accélération distinctes pour sélectionner et réguler leur dépassement automobile.

1.2.2.1 Dépassement et affordance MSV/Vmax

Imaginons une situation de dépassement automobile (Figure 15), sur route nationale à deux voies de circulation, dans laquelle trois véhicules sont impliqués : un véhicule conduit par un conducteur désireux de dépasser, un véhicule roulant devant ce conducteur sur la même voie et enfin un véhicule présent en sens inverse, immobile, à éviter durant le dépassement.

À l'instar de Warren (1984) et de Fajen (2005b), nous exprimons une *affordance* de dépassement comme le ratio entre une propriété du système agent-environnement – i.e., un état idéal – et une propriété de l'agent. Dans cette situation (Figure 15), nous formalisons la propriété du système agent-environnement ou état idéal en termes de propriétés cinématiques dépendantes de la vitesse minimale satisfaisante pour réussir le dépassement (*Minimal Satisfying Velocity, MSV*). La formalisation de *MSV* inclura la distance restant à parcourir par le conducteur jusqu'au véhicule obstacle (Distance sujet, D_S), la distance restant à parcourir

par le véhicule *leader* (Distance *leader*, D_L) ainsi que la position du véhicule obstacle considéré comme immobile (V_O) dans cette première phase de nos recherches. Par ailleurs, la vitesse du véhicule leader (V_L) sera également à prendre en compte. Nous pouvons ainsi formaliser MSV comme suit :

$$MSV = \frac{Distance_{Sujet} \times Véhicule_{Leader}}{Distance_{Leader}}$$

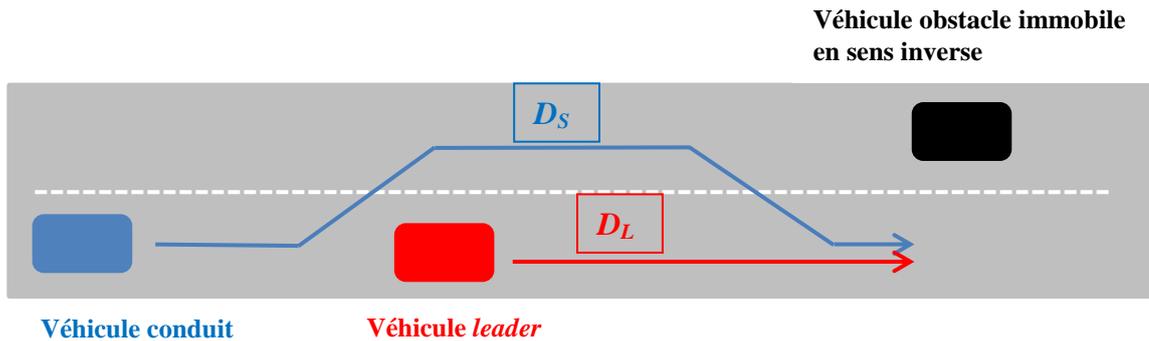


Figure 15 : Représentation schématique d'une situation de dépassement automobile classique

Afin d'exprimer notre *affordance* de dépassement il convient également de formaliser la propriété de l'agent reflétant la limite d'action du véhicule. Cette dernière représente les capacités d'action du conducteur définies en termes de propriétés cinématiques dépendantes de la vitesse maximale du véhicule conduit (V_{max}). À l'image de la formalisation mathématique de Warren (1984), nous exprimons l'*affordance* de dépassement (π_1) comme le ratio entre une propriété du système agent-environnement – i.e., état idéal – (MSV) et une propriété de l'agent (V_{max}) :

$$\pi_1 = \frac{MSV}{V_{max}}$$

En postulant que le conducteur perçoit l'*affordance* de dépassement (π_1) pour prendre la décision d'initier son dépassement, nous devrions observer une série de comportements (Figure 16), fonctions des valeurs de π_1 :

- Si $\pi_1 > 1$, c'est-à-dire si $MSV > V_{max}$, le conducteur ne devrait pas initier de dépassement. En effet, dans cette situation, la vitesse minimale à atteindre pour réussir

le dépassement (MSV) est supérieure à la vitesse maximale du véhicule conduit (V_{max}). Le conducteur n'est donc pas en mesure de réussir son dépassement.

- Si $\pi_1 < 1$, c'est-à-dire si $MSV < V_{max}$, le conducteur devrait initier son dépassement. En effet, dans cette situation, la vitesse minimale à atteindre pour réussir le dépassement (MSV) est inférieure à la vitesse maximale du véhicule conduit (V_{max}). Le conducteur est donc en mesure de réussir son dépassement.

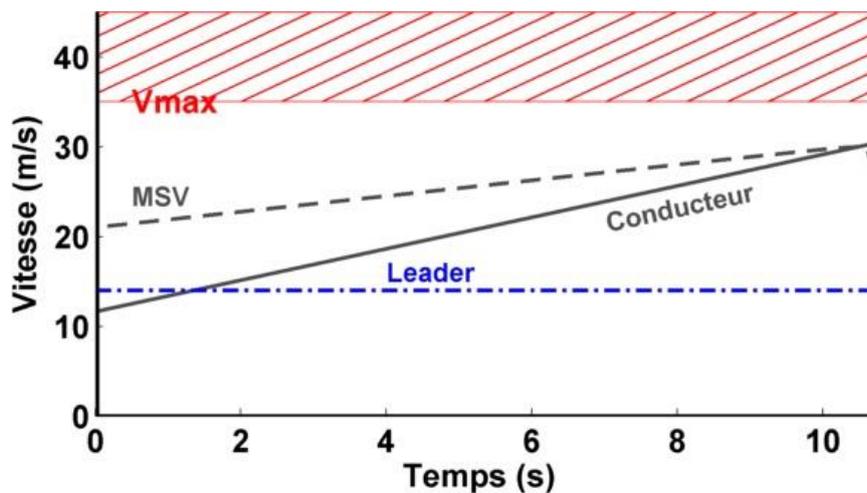


Figure 16: Représentation schématique des propriétés du système agent-environnement ou état idéal (MSV) et des capacités d'action du conducteur (V_{max} et « Conducteur »). L'évolution de MSV dépend de l'évolution de la vitesse du conducteur. Tant que la MSV est inférieure à la V_{max} alors le dépassement est possible. La vitesse du véhicule leader (« Leader ») reste constante.

Dans ce scénario de dépassement automobile, nous avons formalisé une première *affordance* de dépassement susceptible d'être perçue par le conducteur, au sein de laquelle la propriété du système agent-environnement – état idéal – était représentée par la vitesse minimale satisfaisante (MSV) pour réussir le dépassement et la propriété de l'agent par la vitesse maximale du véhicule conduit (V_{max}).

Toutefois, si la perception de cette *affordance* est une condition nécessaire pour réussir le dépassement, elle n'est pas pour autant suffisante. En effet, dans une situation où la MSV serait très éloignée de la vitesse courante du conducteur tout en étant inférieure à sa V_{max} , une telle propriété du système agent-environnement ne renseignerait pas le conducteur sur sa capacité à fournir une accélération suffisante pour rejoindre la MSV avant qu'elle ne dépasse la V_{max} . La MSV informerait le conducteur, à tort, de la faisabilité du dépassement. Pour

autant, ceci n'implique pas l'inutilité de cette *affordance* pour le conducteur mais bien plus la présence d'autres propriétés d'intérêt à considérer pour ce type de situation automobile. Il convient dès lors de formaliser une *affordance* de dépassement relative à l'accélération du véhicule conduit.

1.2.2.2 Dépassement et affordances MSV/V_{max} et MSA/A_{max}

Si nous reprenons la situation de dépassement présentée précédemment, dans la vie réelle les véhicules ne sont pas seulement bornés par une vitesse maximale mais également par une accélération maximale qui contraint leur performance. Les conducteurs pourraient alors améliorer leur perception des possibilités de dépasser en s'appuyant non seulement sur la vitesse maximale, mais également sur leur accélération maximale.

Dans le prolongement des études de Warren (1984) et de Fajen (2005b), nous pouvons formaliser une deuxième *affordance* à partir d'une propriété du système agent-environnement – i.e., d'un état idéal – dépendant d'une accélération minimale satisfaisante (*Minimal Satisfying Acceleration, MSA*) pour réussir le dépassement. Dans cette situation (Figure 17), une formalisation de *MSA* inclut la vitesse maximale du véhicule sujet (V_{max}), la vitesse courante du véhicule sujet (V_s) ainsi que la vitesse du véhicule leader à dépasser (V_L). Par ailleurs, la formalisation de *MSA* intègre les propriétés relatives à la distance restant à parcourir par le conducteur jusqu'au véhicule obstacle (Distance sujet, D_S), la distance restant à parcourir par le véhicule *leader* (Distance *leader*, D_L) ainsi que la position du véhicule obstacle considérée comme immobile (V_O). Nous pouvons ainsi formaliser *MSA* comme suit :

$$MSA = \frac{-(V_{max} - Vitesse_{sujet})^2}{2 \times (Distance_{sujet} - V_{max} \times \frac{Distance_{Leader}}{Vitesse_{Leader}})}$$

Afin d'exprimer notre deuxième *affordance* de dépassement il convient de formaliser les limites d'action de l'agent. Ces dernières représentent les capacités d'action maximale du conducteur définies en termes de cinématiques. Dans cette situation de dépassement, l'accélération maximale du conducteur (A_{max}) est définie comme une capacité d'action maximale. À l'image de Warren (1984), nous exprimons l'*affordance* de dépassement (π_2)

susceptible d'être perçue comme le ratio entre une propriété du système agent-environnement – état idéal – (MSA) et une propriété de l'agent (A_{max}) :

$$\pi_2 = \frac{MSA}{A_{max}}$$

L'intérêt de formaliser une nouvelle *affordance* dans ce deuxième scénario réside dans la possibilité de comparer le degré d'utilisation de chacune des *affordances* par le conducteur lors d'une situation de dépassement. Le conducteur dispose dans ce scénario de deux *affordances* de dépassement dont l'une, par construction, l'informe plus précisément et plus précocement sur ses possibilités d'action (Figure 17). En effet, l'accélération étant la primitive de la vitesse, elle renseignera plus précisément et plus rapidement le conducteur sur les propriétés du système agent-environnement (contraintes spatio-temporelles de la tâche) ainsi que sur ses capacités d'action maximales. Percevoir l'*affordance* MSA/A_{max} est une condition nécessaire et suffisante pour réussir le dépassement contrairement à l'*affordance* MSV/V_{max} (Figure 17). Pour autant, cela n'implique pas l'inutilité de cette *affordance* dans l'initiation et la réalisation du dépassement. Cette nouvelle formalisation devrait enrichir la précédente en renseignant plus précisément les conducteurs sur leurs possibilités de dépasser. Si le conducteur perçoit préférentiellement l'*affordance* (MSA/A_{max}), alors nous devrions observer :

- Si $MSA/A_{max} > 1$ et $MSV/V_{max} < 1$, le conducteur ne devrait pas initier de dépassement. En effet, dans cette situation l'accélération minimale à atteindre pour réussir le dépassement (MSA) est supérieure à l'accélération maximale du véhicule conduit (A_{max}). Le conducteur n'est donc pas en mesure de réussir son dépassement malgré une condition dans laquelle MSV est inférieure à V_{max} .
- Si $MSA/A_{max} < 1$ et $MSV/V_{max} < 1$, le conducteur devrait initier son dépassement. En effet, dans cette situation l'accélération minimale à atteindre pour réussir le dépassement (MSA) est inférieure à l'accélération maximale du véhicule sujet (A_{max}). Le conducteur est donc en mesure de réussir son dépassement.

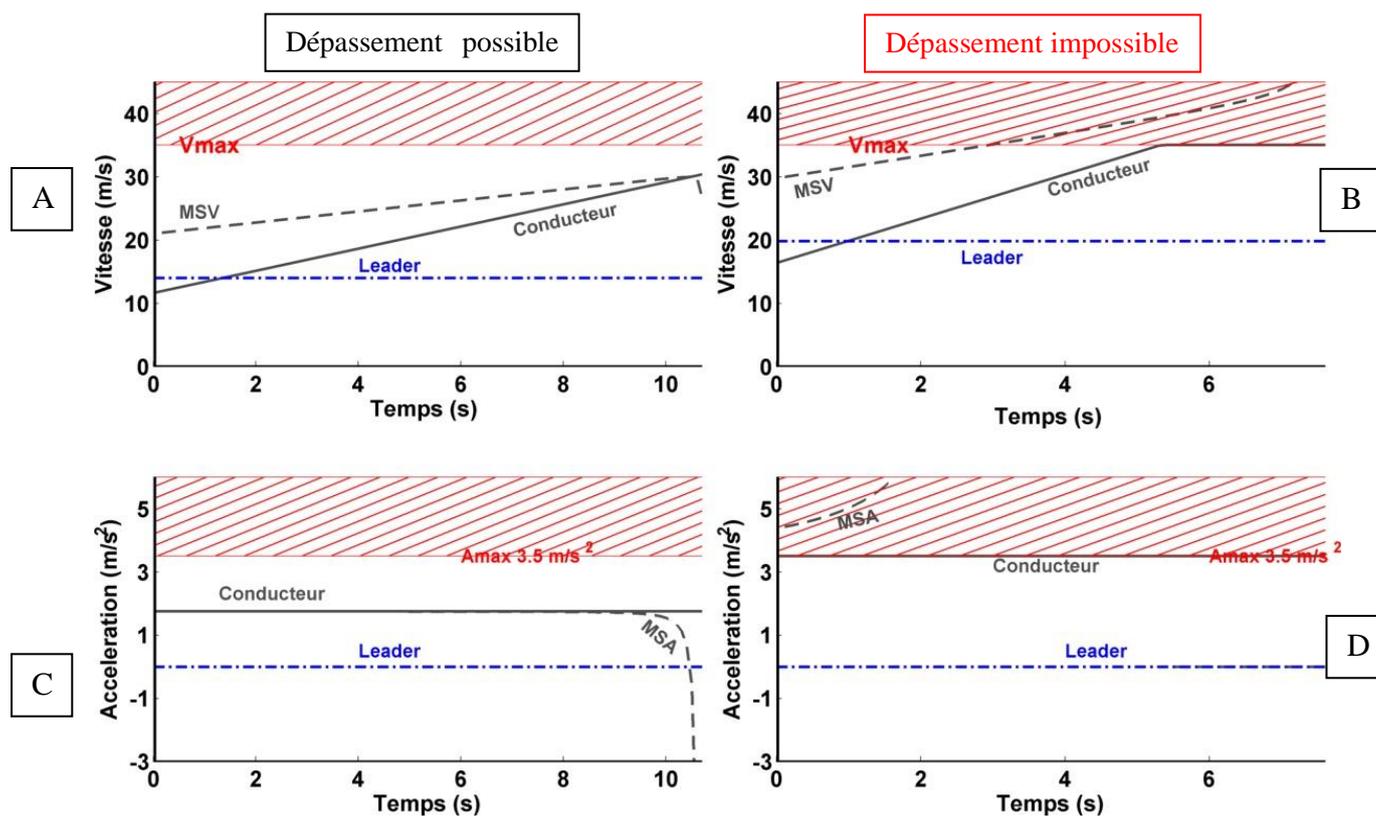


Figure 17: Représentation schématique des propriétés du système agent-environnement (*MSV* et *MSA*) et des propriétés de l'agent (V_{max} et A_{max} ; Vitesse et Accélération du conducteur « Conducuteur ») lors d'un dépassement, selon deux propriétés cinématiques : la vitesse (panneau A et B) et l'accélération (panneau C et D). Le panneau A est associé au panneau C tandis que le panneau B est associé au panneau D. Si l'on considère uniquement les panneaux A et C, *MSV* et *MSA* informent le conducteur d'un dépassement possible. Si l'on considère à présent les panneaux B et D, alors que la *MSV* informe le conducteur d'un dépassement possible jusqu'à la 3^{ème} seconde, la *MSA* informe le conducteur de l'impossibilité de dépasser, dès les premières secondes : l'accélération maximale du conducteur (A_{max}) est inférieure à la *MSA* (D). Le conducteur ne peut fournir une accélération suffisante qui lui permette de rejoindre la *MSV* avant qu'elle n'atteigne V_{max} : le dépassement est donc impossible.

Dans ce scénario de dépassement automobile, nous avons formalisé une deuxième *affordance* de dépassement susceptible d'être perçue par le conducteur, caractérisée par une propriété du système agent-environnement – i.e., un état idéal – représentée par l'accélération minimale satisfaisante (*MSA*) pour réussir le dépassement et pour laquelle la propriété de l'agent était représentée par l'accélération maximale du véhicule conduit (A_{max}).

Il convient à présent d'aborder la formalisation de nouvelles propriétés du système agent-environnement et des propriétés de l'agent. Dans ce nouveau scénario, le conducteur aura la possibilité de moduler ses capacités d'accélération maximales.

1.2.2.3 Dépassement et affordance MSA/Amax 3^{ème} et MSA/Amax 4^{ème}

Si nous reprenons la situation de dépassement présentée dans la partie précédente, les véhicules étaient bridés à la fois par une vitesse maximale mais également par une accélération maximale qui contraignaient leur performance. Toutefois, dans les situations automobiles quotidiennes, le conducteur dispose d'un ensemble d'accélération qu'il peut sélectionner en modifiant les rapports de vitesse de son véhicule. Dans cette perspective, nous nous proposons de questionner la capacité des conducteurs, lors de la réalisation d'un même dépassement, à exploiter des limites d'action distinctes (en termes d'accélération maximale) propres à chaque rapport de vitesse

Dans un souci de réalisme nous avons sélectionné deux rapports de vitesse susceptibles d'être les plus utilisés lors d'une situation de dépassement. Dans le prolongement de l'étude de Warren (1984) et de Fajen (2005a, 2005c), nous formalisons une *affordance* relative, par exemple, au quatrième et au troisième rapport de vitesse. La propriété du système agent-environnement – i.e., l'état idéal – dans cette situation est définie par l'accélération minimale satisfaisante (*Minimal Satisfying Acceleration, MSA*) pour réussir le dépassement. La formalisation de *MSA*, reste inchangée par rapport au scénario précédent.

Afin de formaliser notre *affordance* de dépassement, il convient à présent de définir les deux propriétés de l'agent. Ces dernières représentent les capacités d'action du conducteur en 3^{ème} et en 4^{ème} vitesse, définies en termes de propriétés cinématiques (i.e., par une accélération maximale) et notées respectivement *Amax 3^{ème}* et *Amax 4^{ème}*. Rappelons en outre qu'une accélération en 3^{ème} vitesse sera plus grande qu'une accélération en 4^{ème} vitesse pour un véhicule donné. En effet, comme le montre le graphique ci-dessous (Figure 18), chaque rapport de vitesse possède une capacité d'accélération maximale changeante lors de chaque rétrogradation ou lors d'un passage au rapport de vitesse supérieur. La capacité d'accélération diminue à mesure que le rapport de vitesse augmente. Ainsi, un rapport en 1^{ère} vitesse possèdera une plus grande accélération maximale qu'un rapport en 4^{ème}. Le dépassement automobile apparaît alors comme un cas d'usage particulièrement intéressant : la vitesse n'est plus la seule variable à considérer, il est nécessaire d'intégrer également le rapport de vitesse (accélération disponible) pour initier son dépassement.

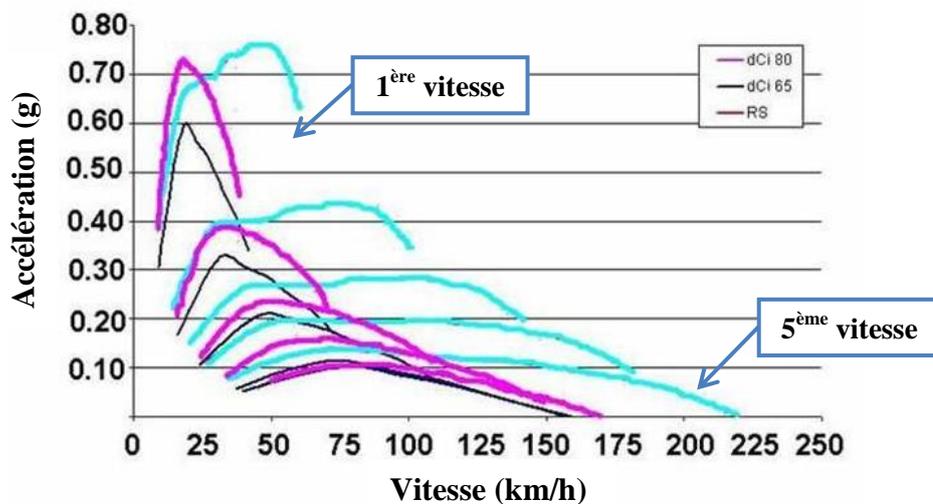


Figure 18: Accélération (en g) relative aux cinq rapports de vitesse et exprimée en fonction de la vitesse courante, en km/h, de trois types de véhicule dCi80 (courbe magenta), dCi65 (courbe noir) et RS (courbe bleu) se distinguant par leurs capacités d'accélération. Le véhicule type RS (courbe bleu) possède les plus grandes capacités d'accélération.

À l'image de Warren (1984) et Fajen (2005a, 2005c), nous exprimons l'*affordance* de dépassement en 3^{ème} (π_3) et en 4^{ème} vitesse (π_4) comme le ratio entre une propriété du système agent-environnement (*MSA*) – état idéal – et une propriété de l'agent (A_{max} 3^{ème} et A_{max} 4^{ème}) :

$$\pi_3 = \frac{MSA}{A_{max} 3^{ème}} \text{ et } \pi_4 = \frac{MSA}{A_{max} 4^{ème}}$$

L'intérêt de formaliser une *affordance* de dépassement dont les capacités d'action maximales peuvent être modulées, réside dans la possibilité de mesurer la capacité du conducteur à utiliser plusieurs limites d'action au moment de l'initiation de son dépassement et tout au long de sa réalisation comme référence. En effet, si le conducteur décide de rétrograder de la 4^{ème} à la 3^{ème} vitesse cela signifie qu'il perçoit l'accélération fournie en 4^{ème} comme insuffisante par rapport à ses capacités d'action pour réussir le dépassement. Le comportement de rétrogradation nous permettra, en ce sens, de mieux décrire les mécanismes perceptivo-moteurs mis en œuvre, au quotidien, lorsque le conducteur est amené à changer de véhicule ou encore à se calibrer aux nouvelles accélérations fournies par chacun de ses rapports de vitesse.

Si le conducteur est sensible aux limites d'action définies en termes d'accélération, nous devrions observer (Figure 19) :

- Si $MSA/A_{max} 4^{ème} < 1$ et $MSA/A_{max} 3^{ème} < 1$, le conducteur devrait initier et réaliser son dépassement sans effectuer de rétrogradation – en considérant que le conducteur débute son essai en $4^{ème}$. En effet, dans cette situation, l'accélération minimale à atteindre pour réussir le dépassement (MSA) est inférieure à l'accélération maximale du véhicule sujet en $4^{ème}$ vitesse ($A_{max} 4^{ème}$). Il n'est donc pas nécessaire de rétrograder en $3^{ème}$ vitesse pour réussir le dépassement.
- Si $MSA/A_{max} 4^{ème} > 1$ et $MSA/A_{max} 3^{ème} < 1$, le conducteur devrait initier et réaliser son dépassement après avoir rétrogradé en $3^{ème}$ vitesse. En effet, dans cette situation, l'accélération minimale à atteindre pour réussir le dépassement (MSA) est supérieure à l'accélération maximale du véhicule sujet en $4^{ème}$ vitesse ($A_{max} 4^{ème}$) mais reste inférieure à l'accélération maximale du véhicule sujet en $3^{ème}$ vitesse ($A_{max} 3^{ème}$). Le conducteur doit donc utiliser une capacité d'action plus grande pour réussir le dépassement.
- Si $MSA/A_{max} 3^{ème} > 1$, le conducteur ne devrait pas initier de dépassement. En effet, dans cette situation, l'accélération minimale à atteindre pour réussir le dépassement (MSA) est supérieure à l'accélération maximale du véhicule conduit ($A_{max} 3^{ème}$), i.e., sa plus grande capacité d'accélération. Le conducteur n'est donc pas en mesure de réussir son dépassement.

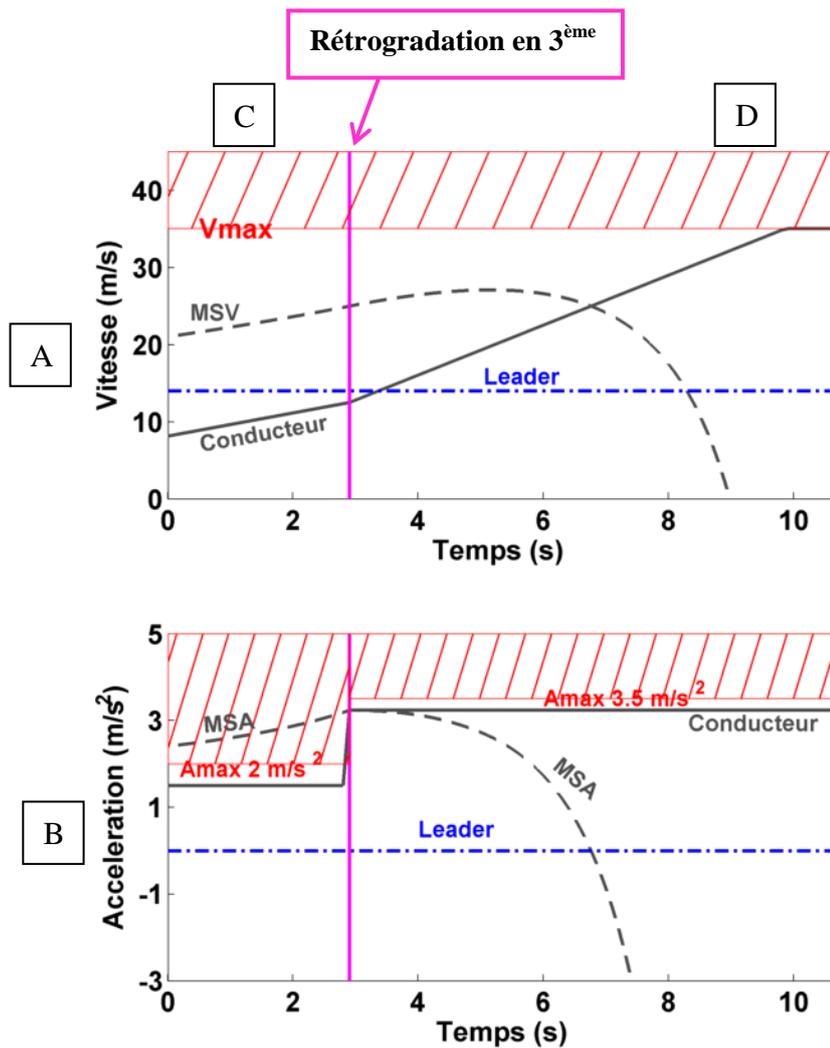


Figure 19: Représentation schématique des propriétés du système agent-environnement (MSV et MSA) et des propriétés de l'agent (V_{max} , $A_{max} 4^{ème}$ et $A_{max} 3^{ème}$; Vitesse et Accélération courante) lors d'un dépassement, selon deux propriétés cinématiques : la vitesse (panneau A) et l'accélération (panneau B). Dans cette situation le conducteur dispose de deux capacités d'accélération ($A_{max} 2m/s^2$ et $A_{max} 3.5m/s^2$). Durant la première phase de l'essai (panneau C), MSA est supérieure à l'accélération maximale du conducteur en $4^{ème}$ ($A_{max} 2m/s^2$) mais inférieure à l' $A_{max} 3.5 m/s^2$: le dépassement est impossible si le conducteur reste en $4^{ème}$. Il est donc nécessaire de rétrograder en $3^{ème}$ vitesse (panneau D) avant que la MSA ne dépasse la limite d'action en $3^{ème}$ vitesse ($A_{max} 3.5m/s^2$). L'accélération maximale du conducteur devient alors supérieure à la MSA : le dépassement devient possible.

Dans ce scénario de dépassement automobile, nous avons formalisé une nouvelle *affordance* de dépassement susceptible d'être perçue par le conducteur, caractérisée par une propriété du système agent-environnement représentée par l'accélération minimale satisfaisante (MSA) pour réussir le dépassement et pour lesquelles les propriétés de l'agent étaient représentées par l'accélération maximale du véhicule conduit en $3^{ème}$ ($A_{max} 3^{ème}$) et en $4^{ème}$ vitesse ($A_{max} 4^{ème}$). Nous nous intéresserons ainsi à la sélection et à la régulation d'un

mode d'action en questionnant la capacité des conducteurs, lors de la réalisation d'un même dépassement, à exploiter des limites d'action distinctes propres à chaque rapport de vitesse.

Fort de ce constat, nous allons présenter l'objectif général de ce travail de thèse abordant les comportements de prise de décision lors d'un dépassement automobile et les comportements de régulation du dépassement en s'inspirant de ces trois scénarios de dépassement. Le cœur de ma problématique consiste à vérifier si la théorie des *affordances*, à travers des *affordances* dimensionnées à l'action, peut s'appliquer à une tâche de dépassement automobile.

RÉSUMÉ :

En nous appuyant sur le cadre théorique des *affordances* présenté précédemment (cf. p. 17 et suiv.), nous avons pu formaliser des *affordances* susceptibles d'être perçues par un conducteur à partir de la prise en compte de différentes propriétés du système agent-environnement et des propriétés de l'agent, et ce pour une même situation de dépassement automobile.

I.2.3 Problématique et objectifs

Nous avons précédemment mis en évidence que le dépassement automobile est une activité perceptivo-motrice dont la réussite dépendrait de la prise en compte de propriétés physiques/géométriques (e.g., espace inter-véhiculaire) du dépassement et sociodémographiques (e.g., âge des conducteurs) notamment, comme en témoigne l'ensemble des bilans accidentologiques. Nous avons également signalé les limites des recherches menées jusqu'à présent, du fait de l'absence ou de la mauvaise prise en compte des propriétés d'intérêt dans la réalisation du dépassement automobile (e.g., capacité d'action des conducteurs), faute de cadre théorique adéquat.

Fort de ce constat, nous avons suggéré que la théorie écologique de la perception et de l'action, et plus particulièrement son concept central d'*affordance*, serait une alternative

théorique utile pour l'étude du dépassement automobile. Nous avons montré que les individus, quels que soient les tâches dans lesquelles ils sont impliqués (e.g., intercepter un objet, monter des marches, passer sous une barrière, attraper une balle en vol, freiner pour éviter des obstacles, etc.), s'appuient sur la perception de leurs possibilités d'action – i.e., des *affordances* dimensionnées à l'action et/ou aux propriétés anthropométriques – pour prendre leurs décisions et contrôler leurs actions. La théorie des *affordances* apparaît ainsi particulièrement pertinente dans l'étude du dépassement automobile.

Originellement conceptualisée par J. J. Gibson (1966, 1977, 1986) et formalisée par Warren (1984), la théorie des *affordances* a été repensée par Fajen (2007a) afin de répondre aux problématiques des liens entre capacités d'action et contrôle de l'action. À travers l'*affordance-based control*, Fajen a pu expliquer des comportements de prise de décision et de contrôle de l'action, dans une tâche de freinage, par la modélisation des propriétés du système agent-environnement spécifiant les possibilités de freiner du véhicule (e.g., décélération idéale / décélération maximale, etc.).

Dans la même veine, nous souhaitons déterminer si le dépassement automobile peut également être appréhendé à travers la perception d'*affordances* dimensionnées à l'action, définies en termes de possibilités d'action. À la différence de Fajen, nous nous focaliserons uniquement, dans ce manuscrit, sur les propriétés du système agent-environnement sous-jacentes au dépassement et non sur le support optique les spécifiant.

L'objectif principal de ce travail de thèse est de valider l'hypothèse générale selon laquelle les conducteurs automobiles sélectionnent un mode d'action (i.e., prennent la décision de dépasser ou non) et le régulent (i.e., contrôlent leur dépassement automobile) en percevant des possibilités de dépassement, appelées *affordances*. Ces dernières seraient définies par le ratio entre les propriétés du système agent-environnement (e.g., vitesse minimale satisfaisante pour réussir le dépassement) et les propriétés de l'agent (e.g., vitesse maximale du véhicule conduit). Il s'agit ainsi, à partir du formalisme mathématique de l'*affordance* élaboré par Warren (1984) et de la nouvelle conceptualisation de l'*affordance* réalisée par Fajen (2007a), de mettre la théorie des *affordances* à l'épreuve du dépassement automobile à travers trois expérimentations réalisées sur simulateur de conduite.

Dans une première expérience (Étude 1), nous nous concentrerons sur le comportement de sélection d'un mode d'action du conducteur à l'origine de la réussite du dépassement automobile. Nous formulons l'hypothèse que les conducteurs automobiles

prennent la décision d'initier un dépassement en fonction d'une *affordance* dimensionnée à l'action, définie par le ratio entre les propriétés du système agent-environnement (i.e., la Vitesse Minimale Satisfaisante pour réussir un dépassement, *MSV*) et les propriétés de l'agent (i.e., la Vitesse maximale du véhicule conduit, *Vmax*). En reprenant la formalisation de Warren (1984), nous exprimons l'*affordance* de dépassement telle que : $\pi_1 = MSV/Vmax$. D'après notre hypothèse, nous devrions observer une majorité de dépassements pour les conditions expérimentales dans lesquelles $MSV/Vmax < 1$. Dans cette situation en effet, la vitesse minimale pour réussir un dépassement est inférieure à la vitesse maximale du véhicule conduit : le dépassement est donc réalisable en toute sécurité. À l'inverse, nous devrions observer une absence de dépassement ou encore des dépassements interrompus (i.e., renoncement) pour des conditions expérimentales dans lesquelles $MSV/Vmax > 1$.

Dans une deuxième expérience (Étude 2), nous nous interrogerons sur l'utilisation préférentielle d'une seconde *affordance* du dépassement automobile – formalisée à partir de propriétés définies dans une unité d'accélération – à même de spécifier plus précisément et plus précocement les possibilités de dépasser. Pour ce faire, nous étudierons en grande partie le comportement de sélection d'un mode d'action en manipulant les valeurs de deux *affordances* (*MSV/Vmax* et *MSA/Amax*). Nous nous intéresserons également à la capacité des sujets à réguler leurs modes d'action (e.g., doubler, renoncer, etc.) à partir de cette nouvelle *affordance* de haut niveau. Nous faisons l'hypothèse que les conducteurs automobiles prennent la décision d'initier un dépassement en fonction de cette nouvelle *affordance* définie par le ratio entre les propriétés du système agent-environnement (i.e., l'Accélération Minimale Satisfaisante pour réussir un dépassement, *MSA*) et les propriétés de l'agent (i.e., l'Accélération maximale du véhicule conduit, *Amax*).

Comme lors de la première expérience, nous exprimons l'*affordance* de dépassement telle que : $\pi_2 = MSA/Amax$. Nous devrions observer une majorité de dépassements pour les conditions expérimentales dans lesquelles $MSA/Amax < 1$ et $MSV/Vmax < 1$. Dans cette situation, en effet, l'accélération et la vitesse minimales pour réussir le dépassement sont inférieures à l'accélération et à la vitesse maximale du véhicule conduit : le dépassement est donc réalisable en toute sécurité. Toutefois, dès l'instant que le ratio $MSA/Amax > 1$, nous devrions observer une absence de dépassements ou encore des dépassements interrompus (i.e., un renoncement) malgré des conditions expérimentales pour lesquelles $MSV/Vmax < 1$.

Dans une troisième expérience (Étude 3), nous nous intéresserons à la sélection et à la régulation d'un mode d'action en questionnant la capacité des conducteurs, lors de la réalisation d'un même dépassement, à exploiter des limites d'action distinctes propres à chaque rapport de vitesse. Le choix sera donné au conducteur de changer les capacités d'action de leur véhicule en fonction de l'évolution des propriétés du système agent-environnement (contraintes spatio-temporelles du dépassement). Pour ce faire, nous permettrons aux conducteurs de réguler leurs accélérations au cours d'un essai, en redéfinissant leurs capacités d'action maximales (i.e., leurs accélérations maximales en 4^{ème} et en 3^{ème}) à l'aide d'une boîte de vitesse manuelle. Nous faisons l'hypothèse que les conducteurs sont capables d'initier un dépassement et de le réguler en se calibrant à une *affordance* définie par le ratio entre des propriétés du système agent-environnement (i.e., l'Accélération Minimale Satisfaisante pour réussir un dépassement, *MSA*) et des propriétés de l'agent (i.e., l'Accélération maximale du véhicule conduit en 4^{ème} ou en 3^{ème} (*Amax* 4^{ème} ou *Amax* 3^{ème})).

En cohérence avec les précédentes études, nous exprimons l'*affordance* de dépassement telle que : $\pi_3 = MSA/Amax\ 3^{ème}$ et $\pi_4 = MSA/Amax\ 4^{ème}$. Si notre hypothèse est vérifiée, nous devrions observer une majorité de dépassements pour les conditions expérimentales dans lesquelles $MSA/Amax\ 4^{ème}$ et $MSA/Amax\ 3^{ème} < 1$. Par ailleurs, si les conducteurs sont correctement calibrés à leurs capacités d'accélération (*Amax* 4^{ème} et 3^{ème}), ils devraient choisir de rétrograder en 3^{ème} vitesse lorsque la condition expérimentale correspond à $MSA/Amax\ 4^{ème} > 1$ et $MSA/Amax\ 3^{ème} < 1$. Dans cette situation, en effet, l'accélération minimale pour réussir le dépassement est supérieure à l'accélération maximale en 4^{ème} du véhicule conduit mais reste inférieure à l'accélération maximale en 3^{ème}: le dépassement est donc réalisable en toute sécurité. Toutefois, dès l'instant que le ratio $MSA/Amax\ 3^{ème} > 1$, nous devrions observer une absence de dépassements ou encore des dépassements interrompus (i.e., un renoncement).

Dans l'ensemble de ces études, à l'instar de Warren (1984) et de Fajen (2005a, 2005c, 2007b), nous devrions observer des fréquences de dépassements distinctes entre les groupes de conducteurs possédant des capacités d'action différentes, lorsque ces fréquences seront exprimées dans une échelle de mesure extrinsèque (unité absolue, en m/s). Les conducteurs possédant de plus grandes capacités d'action devraient davantage doubler. En revanche, dès lors que les fréquences de dépassements seront exprimées dans une échelle de mesure

intrinsèque (unité relative, en %), alors nous devrions observer une superposition des fréquences de dépassements entre les groupes de conducteurs.