

L'ANALYSE ERGONOMIQUE DE LA TÂCHE DE NAVIGATION DU CONDUCTEUR AUTOMOBILE

M. FORESTIER. *Psycho-Ergonome, Laboratoire de Psychologie de la conduite
Institut National de Recherche sur les Transports et leur sécurité.*

L'introduction prochaine, et certaine, de dispositifs électroniques embarqués dans le véhicule visant à aider l'automobiliste, notamment dans la tâche de navigation, pose des problèmes de compatibilité, d'une part avec la tâche de conduite (sécurité), d'autre part avec les limites perceptives et cognitives de « l'opérateur humain » (surcharge mentale).

Dans ce contexte d'innovations technologiques, l'ergonome est souvent confronté à deux types de situations dont il convient de dire quelques mots, eu égard aux enjeux qu'elles impliquent.

Dans la première situation, le concepteur d'un dispositif constate (ou apprend) que les utilisateurs ont des problèmes avec son invention. S'il fait appel à l'ergonome, c'est souvent pour qu'il lui indique ce qu'il faut faire pour adapter l'utilisateur à la « machine », étant persuadé, en toute bonne foi, que la dite-machine est parfaite et que les problèmes viennent du fait que les utilisateurs ne savent pas s'en servir. Si ce concepteur persiste dans cette attitude (rassurante il est vrai), l'ergonome ne peut rien pour lui, l'utilisateur reste avec ses problèmes et on a conçu un « gadget ».

Par contre s'il admet que certaines difficultés d'utilisation peuvent venir d'une mauvaise adéquation du dispositif aux « caractéristiques » des personnes qui s'en servent, l'ergonome peut lui proposer certaines modifications en vue d'améliorer sa compatibilité avec l'utilisateur. Dans ce cas, le concepteur augmente ses coûts de production mais son produit est amélioré et l'utilisateur est satisfait.

Dans la deuxième situation, le concepteur, dès le stade de la planche à dessin, se souvenant qu'il est lui-même quotidiennement utilisateur de dispositifs, accepte de considérer qu'il y a des limites (physiques et/ou mentales) à ce qu'on peut demander à un individu pour qu'il se serve d'un appareil. Il associe donc l'ergonome à la conception même du projet afin que le dispositif qu'il a « pensé » soit le plus adapté possible à ses utilisateurs, compte tenu des contraintes technologiques et des limites liées aux facteurs humains. Avec ce type de démarche, on diminue fortement les risques d'avoir conçu un gadget, le dispositif jouant pleinement son rôle d'aide à l'opérateur.

Pour en revenir à notre propos, avant de pouvoir apporter une contribution ergonomique à la définition du cahier des charges de systèmes de navigation, il est impératif de savoir pourquoi des *conducteurs expérimentés*, disposant de *cartes routières* et de panneaux de *signalisation directionnelle* parviennent à se perdre quand ils effectuent un trajet nouveau ou quand ils sortent d'un itinéraire bien connu. Plus précisément, on peut se demander si les caractéristiques actuelles de la carte sont compatibles avec les connaissances et les stratégies

prises en œuvre par le conducteur en situation de navigation ?

L'exposé qui va suivre, et qui tentera de répondre à cette question, comportera trois phases :

- I) Une description synthétique de la tâche de navigation (ce que doit nécessairement faire le conducteur)
- II) Une analyse des caractéristiques et des contraintes de la carte routière (les outils dont il dispose)
- III) Une description et une analyse de l'activité de navigation (comment le conducteur opère).

I) Description de la tâche de navigation

Il s'agit ici de décrire ce que doit nécessairement faire le conducteur quand il veut emprunter un trajet nouveau. La planification du déplacement implique :

- a) qu'il sélectionne, sur la carte, un ensemble d'informations lui permettant d'atteindre sa destination ;
- b) qu'il organise ces informations de façon opérationnelle ;
- c) qu'il stocke en mémoire de travail cet ensemble organisé d'informations. Il se constitue ainsi une « carte mentale » (cognitive map) de l'environnement du déplacement ;

La réalisation effective de l'itinéraire nécessitera qu'il confronte ces informations en mémoire avec celles disponibles sur le terrain et qu'à chaque point de décision il opère un diagnostic sur l'état du système.

On remarque immédiatement que le problème fondamental de la tâche de navigation est celui de la pertinence de la ou des règles de sélection de l'information jugée nécessaire. C'est en fonction de sa qualité que les diagnostics seront justes ou faux.

II) Caractéristiques et contraintes liées à la carte

Un intermédiaire graphique symbolique comme la carte routière (ou le plan de ville) présente des caractéristiques qui vont définir, d'un point de vue ergonomique, les contraintes auxquelles le conducteur doit satisfaire pour l'utiliser.

— l'information est en majeure partie codée au moyen de symboles (couleurs, formes, graphismes, etc...) et présentée à une échelle réduite. Ceci impose que le conducteur connaisse la signification et la valeur de ces symboles. Au plan de l'activité cognitive il y a nécessité d'un décodage et d'une interprétation de l'information,

et ce, sur un support dont la taille réduite peut poser des problèmes de discrimination et plus généralement de lisibilité.

— la carte présente l'information selon (au moins) trois principes :

a) Elle est isomorphe au terrain lui-même dans le sens où elle reproduit, à l'échelle, les rapports d'angles et de distances existants entre les différents éléments de l'espace. Cette constatation, pour triviale qu'elle soit, n'est pas sans importance pour l'ergonome dans la mesure où la littérature en psychologie du travail (et notamment les travaux de D. OCHANIN sur l'image opérative) a montré que l'opérativité d'un intermédiaire graphique n'était pas systématiquement liée à la reproduction fidèle des caractéristiques physiques du système qu'il représente.

b) L'information est toujours spatialement orientée en référence aux points cardinaux. Si ce principe possède une logique interne forte, il ne tient pas compte de la gymnastique mentale (opérer une rotation mentale de la carte en conservant tous les rapports métriques des éléments entre eux) ou réelle (tourner la carte dans la direction effective du déplacement) à laquelle le conducteur doit se livrer s'il se dirige, par exemple, vers le Sud.

c) Enfin, l'information n'a qu'une valeur descriptive de localisation, par « opposition » à l'information opérationnelle d'orientation (se diriger vers...) qui prédomine sur le réseau routier (signalisation directionnelle).

Cet ensemble de caractéristiques propres à la carte définit des contraintes spécifiques pour le conducteur :

— on a vu qu'il doit décoder et interpréter les symboles de la carte. Le fait que certains soient polysémiques (une même couleur désignant deux catégories de routes) introduit une difficulté dans l'activité.

— D'autre part, la carte présente globalement (et nécessairement) une quantité d'informations nettement supérieure à celle dont a besoin l'utilisateur pour un déplacement donné.

Cela suppose qu'il sélectionne lui-même les informations qu'il juge pertinentes, selon des critères qui lui sont propres et qu'il s'est constitué au fil de son expérience de conducteur.

Pour résumer, le problème de la saisie d'informations à partir d'une carte routière renvoie pour l'individu à une double exigence de décodage et d'existence de critères de sélection de ces informations.

III) Description et premières analyses de l'activité de navigation

Après avoir défini le contexte de la tâche, on va s'intéresser à la façon dont le conducteur va opérer, en situation réelle, compte tenu de ce contexte.

Un groupe de cinq conducteurs chevronnés a participé à une expérience de préparation (sur une carte) et de réalisation d'un itinéraire inconnu (i.e. jamais emprunté) situé dans un environnement qui leur était relativement familier. Trois épreuves leur ont été proposées :

1° localisation, sur une « carte » schématique muette de la région concernée, des points de départ et d'arrivée et

de tous les autres éléments informationnels qu'ils souhaitaient y faire figurer.

2° préparation de l'itinéraire (montré à l'aide d'une pointe de crayon) puis réalisation, une fois la carte refermée, d'un schéma du trajet qu'ils ont mémorisé et rédaction d'une « feuille de route ». Les sujets ne disposent ni de ces deux éléments, ni de la carte, pour réaliser l'itinéraire.

3° réalisation de l'itinéraire. Le sujet conduit le véhicule, l'expérimentateur est passager et corrige, après coup, les éventuelles erreurs de direction.

Les différents niveaux d'activités développées par les sujets ont permis, pour la première épreuve (carte muette) de se faire une idée du niveau de connaissance spatiale du secteur géographique concerné ; de déterminer le niveau de spatialisation des points de repères localisés, d'une part les uns par rapport aux autres, d'autres part en référence à l'isomorphisme par rapport au terrain. Pour la deuxième épreuve (schéma de l'itinéraire mémorisé) on a décrit la nature et la quantité des indices prélevés sur la carte, leur mode de stockage en mémoire et l'ordre dans lequel ils sont restitués, enfin la « forme » générale de la représentation du trajet (carte mentale). La troisième épreuve (réaliser l'itinéraire) a permis de définir les différentes procédures utilisées pour résoudre les sous-problèmes spécifiques (diagnostics) et les erreurs qui ont été commises.

Dans le cadre de ce séminaire l'accent sera mis en priorité sur les interactions conducteur/carte routière (épreuve n°2). Plus particulièrement on tentera de mettre en évidence comment les conducteurs utilisent les caractéristiques (géométriques, symboliques, informationnelles) de la carte et ce qu'ils en retiennent pour constituer leur « carte mentale ». On présentera enfin l'opérativité de cette représentation mentale dans l'exécution du déplacement en tentant de répondre à la question : « Existe-t-il une ou des stratégies optimum de sélection des informations sur la carte, compte-tenu de ses caractéristiques, permettant de suivre un itinéraire (routier) sans erreur ni hésitation ? ».

III-1) UTILISATION DES CARACTÉRISTIQUES MÉTRIQUES DE LA CARTE (ANGLES ET DISTANCES)

Procédure :

A partir de la « carte muette » et du schéma de l'itinéraire on a calculé, par rapport au point de départ (Arpa-jon), la position angulaire du point d'arrivée (Chevreuse) estimée par le sujet. Δ_1 pour la carte muette (figure 1) et Δ_2 pour le schéma (figure 2) représentent la différence angulaire entre la position estimée par le sujet et la position réelle sur la carte (exprimée en degrés).

D'autre part, en transformant les distances entre deux points de repère en pourcentage de la distance totale du schéma, rapporté au pourcentage réel calculé sur la carte, on a pu estimer dans quelle proportion les sujets utilisaient l'information métrique de la carte.

Enfin, on a caractérisé la forme générale de chaque schéma du trajet en deux catégories très générales :

- schéma plutôt isomorphe au tracé de la carte (respect « relatif » des variations angulaires à chaque changement de direction) ;
- schéma plutôt linéaire par rapport au tracé de la carte.

S5 - PB

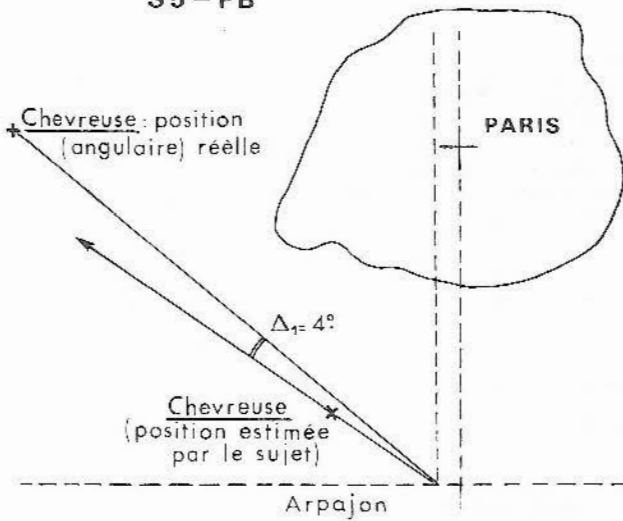


FIGURE 1

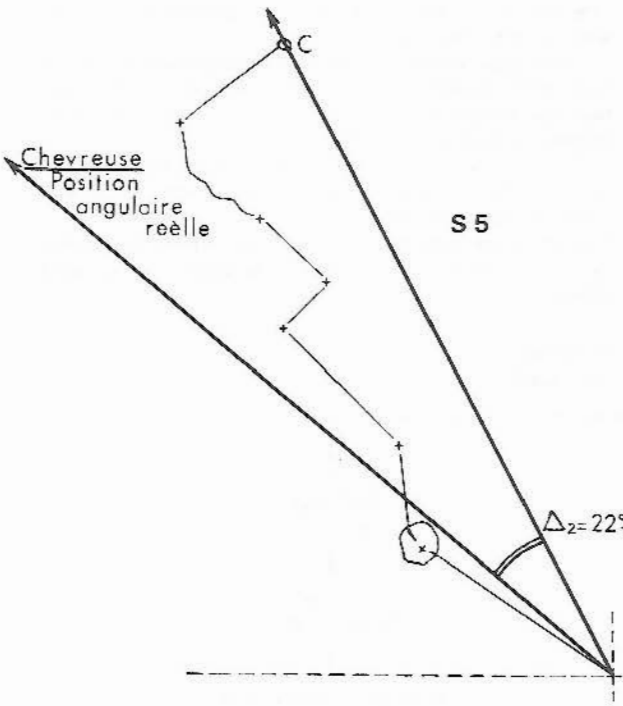


FIGURE 2

Résultats

Le tableau ci-dessous présente les performances des sujets pour chacun des paramètres mesurés.

	Δ_1 angulaire "carte muette"	Δ_2 angulaire schéma	% en respect des distances	Forme générale du trajet
Sujet 1	7°	12°	100 %	"isomorphe"
Sujet 2	71°	23°	44,2 %	"linéaire"
Sujet 3	23°	24°	85,7 %	"isomorphe"
Sujet 4	10°	10°	35,7 %	"linéaire"
Sujet 4	4°	22°	29,8 %	"isomorphe"

Tableau 1 : utilisation des caractéristiques métriques de la carte.

Commentaires :

On constate que seule le sujet n°1 a pris en compte l'ensemble des caractéristiques géométriques de la carte. On peut en conclure qu'il s'est constitué une « carte mentale » quasi isomorphe à la carte objective. Pour les quatre autres sujets, l'appropriation de la métrique cartographique présente une variabilité intra et inter-individuelle non négligeable. Aux vues de ces résultats, on ne peut conclure à l'existence d'une stratégie stéréotypique de prise en compte de l'information métrique contenue dans la carte routière.

III-2) NATURE ET QUANTITÉ D'INDICES INFORMATIONNELS SÉLECTIONNÉS SUR LA CARTE ET STOCKÉS EN MÉMOIRE.

Procédure :

Une analyse de contenu sommaire des commentaires des sujets quand ils réalisent leur schéma et leur « feuille de route » a permis de définir différentes catégories opérationnelles d'indices saisis sur la carte. De plus, on a défini certaines caractéristiques propres à chaque catégorie. Les catégories sont les suivantes :

- 1) l'indice est une localité interne à l'itinéraire ; elle peut être – un point de changement de direction – uniquement un point de passage. Le nom de la localité peut être – rappelé correctement par le sujet – non rappelé (son « existence » a simplement été mémorisée).
- 2) l'indice est une route. Elle peut être désignée – formellement par son numéro, sa catégorie (RN, CD, etc...), sa couleur sur la carte – informellement par son tracé (en ligne droite) ou tout autre élément ne faisant pas appel à un code de la carte.
- 3) l'indice est une mention externe au trajet, considérée comme une orientation à suivre pendant un temps.
- 4) l'indice est un « mouvement du sujet » ; ce sont toutes les indications « à droite », « à gauche », etc... Elles sont souvent associées à un repère.
- 5) autres indices, formels ou informels, naturels ou bâtis.

Résultats :

En utilisant ces catégories et leurs spécifications on a procédé à une ventilation des indices pour chaque sujet, ce que présente le tableau page suivante.

Commentaires :

Sans entrer dans le détail des analyses qualitatives auxquelles nous avons procédé on peut faire les remarques suivantes :

a) concernant l'ensemble des sujets, on constate que les catégories d'indices privilégiées sont au nombre de trois (colonnes 1, 5 et 8). Deux catégories représentent des indices codés – les localités à changement de direction (19,6 % du total des indices) – les routes, désignées par leur symbolique (16 %).

Une catégorie d'indices, non codés formellement sur la carte, qui renvoie au point de vue du sujet : mémorisation des changements de direction (à droite, à gauche). Cette catégorie, avec 26,2 % du total des éléments stockés en mémoire, est la plus importante.

	Localité interne trajet				Route		Localité externe	Mouvement	Autres			TOTAL par ligne
	point chgt rappelé	pt. chgt non rappelé	pt. passage rappelé	pt. pass. non rappelé	code formel	indice informel	mention pertinent externe	à droite à gauche ...	formel bâti	infor. naturel	infor. bâti	
Sujet 1	3	1	1			3	1	3			1	13
Sujet 2	2				4			2	1			9
Sujet 3	2		1		2		1	3		2		11
Sujet 4	4		2		3							9
Sujet 5	1	2		1	2	4		8	1			19
TOTAL	12	3	4	1	11	7	2	16	2	2	1	

b) si on considère chaque sujet, on peut les classer en deux catégories selon deux facteurs : — la quantité d'indices prélevés sur la carte — la diversification des sources d'information. Ainsi, les sujets 1,3 et 5 ont « proportionnellement » stocké plus d'indices et à partir d'un nombre de catégories plus diversifié. A l'inverse, les sujets 2 et 4 ont utilisé moins d'indices et ils sont regroupés sur un plus petit nombre de catégories.

III-3) RÉALISATION DU TRAJET : LA PERFORMANCE DES SUJETS.

Rappelons que l'activité des sujets à chaque carrefour a été assimilée à une activité de diagnostic sur l'état du système Conducteur (la carte mentale)/ Environnement (les informations du terrain). L'analyse des verbalisations des conducteurs pendant cette épreuve a permis de défini-

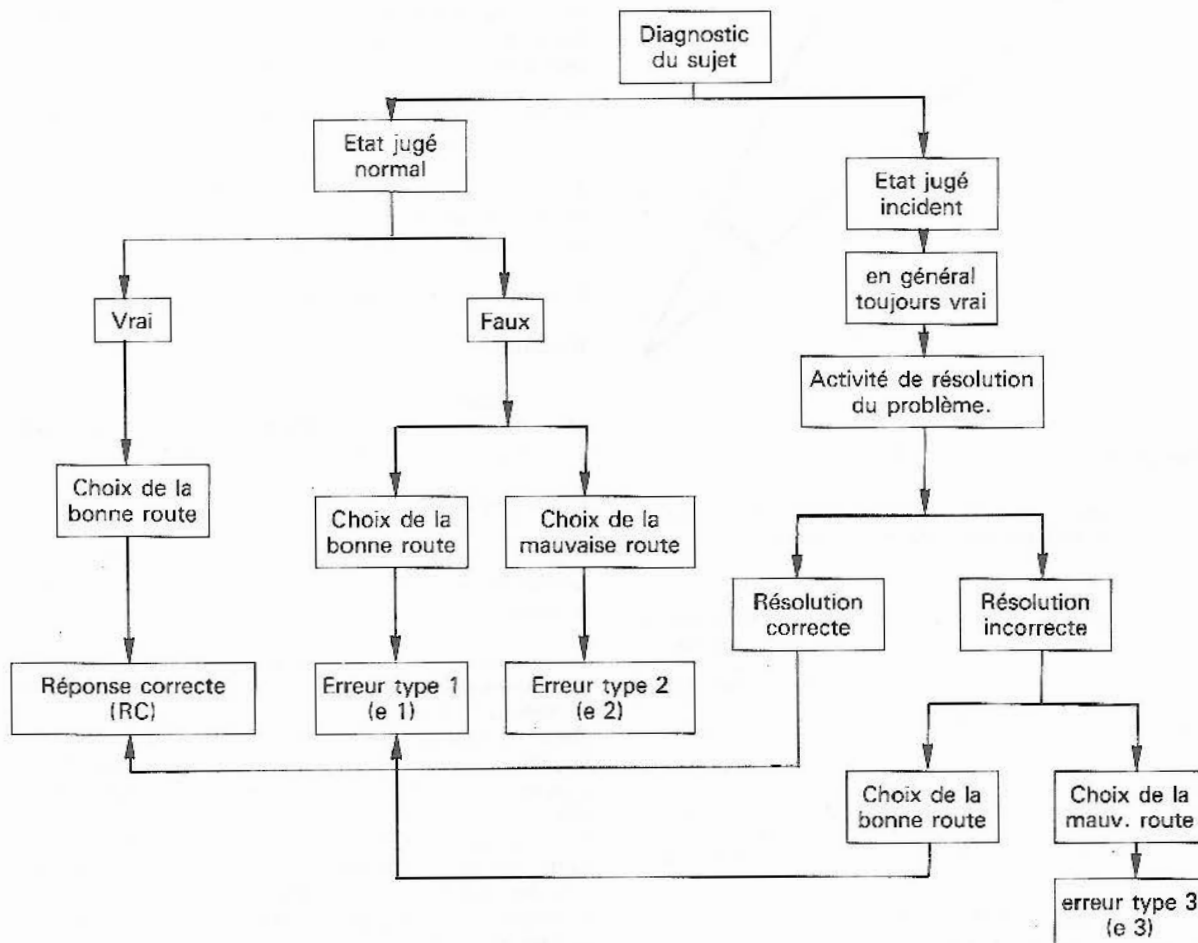
nir trois types de diagnostic :

— l'état du système jugé normal (par le sujet) est considéré comme vrai (ENV) par l'expérimentateur quand le sujet a prélevé l'information correcte au sens où elle est présente sur le terrain et qu'elle lui permet d'atteindre son but intermédiaire.

— l'état jugé normal (par le sujet) est considéré comme faux (ENF) quand le sujet a prélevé une information qui, bien que présente sur le terrain, ne lui permet pas d'atteindre la localité suivante.

— l'état est jugé incident (EI) par le sujet quand les indices stockés en mémoire ne correspondent pas à ceux présents sur le terrain.

L'organigramme ci-dessous décrit les différentes formes de diagnostics opérés et les réponses qui y sont associées.



En utilisant les catégories de cet organigramme comme grille d'analyse de la performance des sujets on obtient

les résultats suivants :

Diagnostic sur l'état du système	Etat Normal Vrai (ENV)	Etat Normal Faux (ENF)		Etat Incident (EI)			Total Diagnostic	Total erreurs effectives
	Réponse correcte (RC)	e1 bonne route	e2 mauvaise route	RC	e1 bonne route	e3 mauvaise route		
S 1	6 54,5 %	1 9,1 %	1 9,1 %	3 27,2 %	0 0 %	0 0 %	11 100 %	1
S 2	8 72,7 %	0 0 %	0 0 %	1 9,1 %	1 9,1 %	1 9,1 %	11 100 %	1
S 3	6 42,8 %	1 7,1 %	3 21,4 %	1 7,1 %	0 0 %	3 21,4 %	14 100 %	6
S 4	6 46,1 %	0 0 %	3 23 %	4 30,8 %	0 0 %	0 0 %	13 100 %	3
S 5	9 60 %	1 6,6 %	4 26,6 %	0 0 %	1 6,6 %	0 0 %	15 100 %	4

(*)

Répartition des diagnostics et des réponses.

(*) pour un total de 6 carrefours nécessitant un changement de direction.

On peut constater, à un niveau très général :

- qu'aucun des conducteurs, pourtant tous expérimentés, n'a réussi à suivre l'itinéraire sans commettre d'erreur ;
- que la variabilité inter-individuelle est loin d'être négligeable si on considère les trois types de diagnostic et les réponses associées ;
- qu'enfin, si on compare le total des états incidents et des états normaux faux (ENF) au total des diagnostics opérés, on remarque que dans près d'un cas sur deux, et pour tous les sujets, il y a discordance objective entre les indices stockés en mémoire et ceux du terrain !

Conclusion-discussion :

Après avoir présenté et analysé (sommairement) les performances des sujets aux trois épreuves, il convient maintenant de les mettre en relation afin de pouvoir répondre à la question initiale de l'existence d'une stratégie optimum de sélection des informations sur la carte permettant le suivi d'un itinéraire « sans erreur ni hésitation ». Le tableau ci-contre regroupe donc l'ensemble des données.

De la comparaison des résultats aux épreuves 1 & 2 avec les performances à la tâche de navigation (épreuve 3), et quels que soient les paramètres considérés, nous ne sommes pas en mesure de montrer que la sélection de certaines caractéristiques de la carte, par un conducteur, lui garantisse une performance optimum dans son activité de suivi de l'itinéraire.

Ainsi, et à titre d'exemple, si on compare les sujets 1 et 2, on constate :

- qu'ils ont des « cartes mentales » pour le moins différentes sinon opposées ;
- que, bien qu'ils aient commis le même nombre d'er-

	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4	Sujet 5	
1 angle.c.muette	7°	71°	23°	10°	4°	Epreuve 1
2 angle.schéma	12°	23°	24°	10°	22°	
% distances o.k.	100 %	44,2 %	85,7 %	35,7 %	29,8 %	Epreuve 2
Forme générale	isomorphe	linéaire	isomorphe	linéaire	isomorphe	
Nombre indices	élevé	faible	élevé	faible	élevé	
Nature indices	diversifiée	groupée	diversifiée	groupée	diversifiée	Epreuve 3
Total erreurs de direction	1	1	6	3	4	
Nombre diagnostics faux	2	0	4	3	5	
Nombre.Etat incident Réponse ok	3 3 RC	3 1 RC	4 1 RC	4 4 RC	1 RC	

Récapitulation des résultats aux trois épreuves.

reur effective (1), le sujet 1 a résolu tous les problèmes de diagnostics incidents alors que le sujet 2 n'y est parvenu qu'une fois sur trois ;

— par contre, le sujet 2 n'a commis aucune erreur de diagnostic (ENF) alors que le sujet 1 en a fait deux (dont une est à l'origine de son erreur effective).

L'hypothèse que suggère la confrontation de ces résultats est que les caractéristiques de la carte routière actuelle ne semblent pas représenter un outil performant d'aide à la navigation.

Pour vérifier cette hypothèse, on procédera à une série d'expérimentations (similaires) dans lesquelles l'information cartographique sera présentée selon des natures et des formes différentes en espérant aboutir à la définition des caractéristiques d'une carte opérationnelle de navigation.