

La voiture citoyenne

Annexes

Comment ont été constituées les bases de données utilisées pour modéliser le concept de voiture citoyenne.

Utiliser des données disponibles et dont la validité est largement acceptée était une nécessité pour définir dans des délais raisonnables la notion de voiture citoyenne. L'objectif était de faire émerger un concept nouveau en associant des caractéristiques différentes et non d'avoir notre propre caractérisation de chaque facteur susceptible d'influer sur ce caractère citoyen. La méthode a consisté à choisir ce qui nous paraissait simple et important parmi les critères disponibles, puis de procéder à une mise en forme des variables retenues pour que chacune puisse contribuer au résultat final. Nos sources ont été multiples et il convient de les décrire pour expliquer les différences minimales qui peuvent exister pour un même paramètre. Il s'agit :

- des résultats des tests concernant la sécurité produits par l'EuroNCAP qui est un organisme indépendant créé en 1997, soutenu par plusieurs gouvernements européens, la commission de l'Union et des associations de consommateurs,
- des données techniques associées à chaque version d'un modèle de véhicule et communiquées par le constructeur aux pays de l'Union Européenne dans le cadre de l'homologation commune des voitures particulières. En France, l'UTAC gère ces données pour le compte de l'administration et attribue un identifiant à chaque version, dénommé CNIT (code national d'identification du type),
- des résultats concernant les différentes valeurs de consommation de carburant et d'émission de dioxyde de carbone présentés sur le site internet de l'ADEME. Ils sont fournis par l'UTAC.
- des données utilisées par les assureurs pour classer les véhicules dans un groupe de tarification. Elles sont notamment établies par une structure spécialisée commune à de nombreuses compagnies (SRA – Sécurité et réparation automobile),
- des caractéristiques des modèles et de leurs différentes versions publiées sur les sites internet des constructeurs automobiles et dans les documents édités par la presse spécialisée, notamment dans les numéros spéciaux de l'été qui décrivent l'ensemble de la production commercialisée.

Les données EuroNCAP concernant la protection des usagers d'un véhicule et la protection des piétons sont disponibles sur le site www.euroncap.org. Nous avons retenu pour nos comparaisons les véhicules qui ont bénéficié de la nouvelle méthode de tests utilisée depuis janvier 2002 pour évaluer la protection des piétons. Nous avons justifié par ailleurs la comparaison entre l'ensemble des véhicules testés et non entre les véhicules de chacune des 9 classes retenues par EuroNCAP. Ce choix est rendu possible par l'identité des tests mis en œuvre pour toutes ces classes et par notre volonté de prendre en compte le problème des relations entre véhicules par la création d'une note caractérisant l'agressivité. Le classement unique permet également d'éviter l'arbitraire du placement d'un véhicule dans une de ces classes. La nouvelle Clio qui pèse 1165 kilos est classée dans les « Superminis », alors que la Logan est dans la classe au dessus des « Small family cars » avec un poids de 1040 kilos. Isoler les « Multi Purpose Vehicles », c'est à dire les véhicules compacts, correspond à un choix fonctionnel et non à des caractéristiques structurelles modifiant radicalement la sécurité des occupants. Le poids demeurant le meilleur indicateur des différences entre les versions d'un même modèle, le tableau des données indique (dans la colonne « diffENCAP ») la différence entre le poids du modèle analysé et le poids du véhicule testé par EuroNCAP indiqué sur le site. Cette différence est exprimée en %, si elle est affectée du signe moins la version décrite a un poids inférieur à celle testée, ce poids est supérieur si la valeur est positive. Le poids de la Seat Ibiza n'est pas indiqué sur le site EuroNCAP et nous avons retenu un poids de 1052 kg, le modèle testé étant l'Ibiza Stella 1,2.

Les données associées au CNIT sont maintenant largement accessibles aux chercheurs à la suite d'une décision de 2004 du délégué interministériel à la sécurité routière.

Les caractéristiques des versions d'un modèle déterminant son classement dans un groupe de tarification sont accessibles sur le site de SRA : www.sra.asso.fr. Le nombre très élevé de CNIT délivrés annuellement a conduit SRA à créer un codage qui correspond à ses besoins, pour éviter de trop nombreux doublons inutiles pour la tarification. Grâce à l'aide de SRA nous avons pu créer des liens entre leur base et celle des CNIT pour la majorité des modèles de base qui nous intéressaient, c'est-à-dire ceux qui ont été testés par l'EuroNCAP. La jointure entre les tables permettait en particulier d'être assuré que les comparaisons entre le

groupe des assureurs et le CNIT se faisait bien entre des véhicules de même masse, de même puissance et vitesse maximale, utilisant le même type de carburant.

Les données concernant notamment les consommations normalisées et l'émission de dioxyde de carbone sont présentées sur le site www.ademe.fr. Sa consultation est facilitée par des regroupements en tableaux par marque et type de carburant utilisé. Certains sites des constructeurs sont très précis dans ce domaine, par exemple le site BMW présente la totalité des émissions de dioxyde de carbone de ses modèles dans un document pdf indiquant également tous les CNIT correspondants.

La disponibilité de ces bases de données et les liens établis entre elles ont permis de tester la méthode sur 3703 versions de 100 modèles de base testés par l'EuroNCAP avec la nouvelle procédure de protection des piétons. Le but n'était pas de produire une base représentative des véhicules commercialisés, mais d'avoir un nombre de modèles suffisant pour tester les relations entre des variables pertinentes et comparer ces modèles entre eux. Il faut en effet savoir que les marques produisent et commercialisent des versions en nombres très différents d'une marque à l'autre, ce qui va produire une surreprésentation de certaines marques. Ce n'est pas pour autant que la comparaison entre les versions perd sa signification. Ce risque existerait si les comparaisons étaient établies sur quelques dizaines d'entre elles, ce n'est pas le cas. Nous l'avons vérifié en réalisant des analyses sur l'ensemble des versions qui ont reçu un identifiant CNIT, sans nous limiter à celles reliées à la base SRA. Ces dernières ont été utilisées spécifiquement pour tester la relation entre les groupes des assureurs et les autres variables disponibles.

Une fois établies les relations statistiques entre les données de la base CNIT, et entre celles de la base SRA, nous avons réduit la base SRA aux seuls modèles de carrosserie testés par EuroNcap, éliminant les breaks et les coupés si c'est la berline qui a été testée. Nous avons également supprimés les doublons sur les critères qui ne sont pas utilisés dans nos calculs de notes en créant une clé portant sur plusieurs critères (la marque, le modèle, le fait d'être alimenté en essence ou en gazole, le poids, la vitesse maximale et la puissance) cette procédure permettait de ne conserver qu'un enregistrement pour plusieurs modèles qui ne différaient pas sur ces critères. Le nombre d'enregistrement s'est alors abaissé à 841. Ils ont été utilisés pour établir des relations entre les variables, calculer des notes partielles et globales et faire des modélisations avant que le groupe fixe ses choix définitifs.

Depuis ce travail, la base EuroNcap s'est enrichie de nouveaux modèles (nouvelle Clio, Fiat Punto, Mazda 5), certains modèles ne sont plus commercialisés, et nous n'avons pas reproduit la totalité de ces analyses avec les produits actuellement commercialisés. L'objectif initial était de tester la validité de certaines hypothèses en établissant des liens statistiques entre des variables et non de produire une mise à jour permanente de ces résultats. Il conviendra de les vérifier annuellement pour mettre en évidence d'éventuelles modifications de ces relations. Par contre les évaluations du caractère citoyen d'un véhicule avec la méthode mise au point seront actualisées au fur et à mesure de la publication de nouveaux résultats par EuroNCAP. Nous avons par exemple calculé les scores obtenus par la Peugeot 1007, la Citroën C1, la Fiat Punto et la Mazda 5, qui sont parmi les derniers modèles testés.

Comment définir la réduction des dommages produits chez les autres conducteurs de VL ?

Deux groupes de caractéristiques doivent être envisagés pour donner de la valeur aux facteurs susceptibles de réduire le risque d'accident et la gravité de ses conséquences pour l'ensemble des usagers quand il n'a pas été évité.

Le risque lié aux possibilités de vitesse très supérieures au maximum autorisé est facilement caractérisable par la vitesse maximale que peut atteindre le véhicule. Les véhicules les plus rapides sont plus souvent impliqués dans les accidents, quelles que soient les infrastructures utilisées et les limitations de vitesse locales. Ce fait a été établi par des assureurs qui intègrent la vitesse maximale dans la formule de calcul établie par SRA pour classer un véhicule apparaissant sur le marché. Il faut remarquer que l'importance relative de ce facteur dans l'offre actuelle s'est réduite puisque la vitesse maximale des véhicules les plus lents s'est constamment accrue au cours des dernières décennies. La quasi-totalité des véhicules commercialisés dépassent 150 km/h. Ce n'est pas parce que les marches les plus basses de l'escalier ont été enlevées que le risque est affaibli quand on saute de la marche la plus haute ! Nous disposons heureusement de la totalité des données des assureurs qui ont été régulièrement publiées sur une longue période dans un document de synthèse bisannuelle qui isolait la notion de dommages corporels chez des tiers. Ce sont les meilleurs arguments pour affirmer que le taux de fréquence des accidents avec dommages corporels chez des tiers et le taux de gravité des accidents (caractérisé par le coût moyen) s'accroît avec la

valeur du groupe dans lequel est classé ce véhicule, ce groupe étant lui-même directement dépendant de la vitesse maximale et de la puissance des véhicules.

Nous sommes actuellement incapables de faire la part de la volonté d'aller vite du conducteur qui achète une voiture très rapide et de l'incitation à la vitesse produite par la capacité d'un véhicule de rouler très vite, mais il n'est pas nécessaire de disposer des ces « fractions attribuables » pour deux raisons qui justifient la pénalisation économique et à terme l'interdiction des véhicules inutilement rapides :

- le nombre d'accidents survenant à très grande vitesse est loin d'être négligeable et ils ne surviennent pas seulement sur les autoroutes limitées à 130 km/h. Les autoroutes de déviation et les voies rapides, comme les routes nationales et départementales sont également concernées. La plupart de ces accidents à vitesse très élevée n'auraient pas pu avoir lieu si le conducteur n'avait pas pu atteindre la vitesse qui était la sienne lorsqu'il a été confronté au risque d'accident. L'accident qui a coûté la vie aux pompiers de Lauriol est une illustration de ce constat ;
- la relation entre les caractéristiques d'un outil et son usage est prouvée dans de très nombreuses circonstances. Une partie des progrès observés dans la réduction du risque au travail a été obtenue en interdisant que des caractéristiques potentiellement dangereuses soient conservées au niveau d'une machine ou d'un produit alors qu'elles ne sont pas utiles à la fonction qu'elle doit assurer et qu'il est techniquement possible de les supprimer.

Les contraintes subies par les occupants de deux véhicules impliqués dans une collision frontale survenant avec une vitesse d'impact donnée pour chacun d'entre eux dépendent de plusieurs groupes de facteurs :

- Les masses respectives des deux véhicules qui vont déterminer leurs variations de vitesse lors de la phase de déformation des structures ;
- Les dispositifs de protection individuels (ceintures de sécurité, sacs gonflables) ;
- La conception structurelle des véhicules, qui va déterminer la nature et l'importance des déformations subies.

Nous n'envisagerons pas ici l'influence des dispositifs de sécurité secondaire individuels, ils relèvent de la protection des occupants des véhicules inclus dans les résultats des essais effectués par l'EuroNCAP. Nous nous limiterons à l'évaluation de la contribution au risque « pour les autres » d'une part des masses respectives des deux véhicules, d'autre part de leur conception structurelle.

La variation de vitesse de deux véhicules dans un choc frontal dépend de leurs masses respectives.

$$\Delta v = \text{Vitesse relative} \times (M_1 / M_1 + M_2)$$

Par exemple si deux véhicules de masses identiques 1000 kg ont une vitesse à l'impact de 10 m/s, leur vitesse relative est de 20 m/s et le rapport entre la masse de l'un et le total de leurs deux masses est de 0,5. La variation de vitesse sera identique pour les deux véhicules, égale à la moitié de la vitesse relative, soit 10 m/s (les deux véhicules s'arrêtent sur place lors d'un choc frontal non décalé et l'annulation de leur vitesse est bien une variation de vitesse de 10 m/s). Il faut remarquer que dans cette situation du choc frontal, seule la vitesse relative compte, si l'un des deux véhicules était à l'arrêt, l'autre ayant une vitesse de 20 m/s, la variation de vitesse serait identique pour les deux véhicules. L'un serait projeté en arrière à la vitesse de 10 m/s et l'autre serait ralenti de 20 à 10 m/s.

La documentation du lien entre le risque de blessures ou de mort et la variation de vitesse lors d'une collision est assurée depuis de nombreuses années, tant en France que dans d'autres pays industrialisés ayant développé des études accidentologiques. La relation entre les masses respectives des véhicules entrant en collision lors de chocs frontaux et le risque d'être tué pour les occupants est également un fait reconnu par l'ensemble de la communauté scientifique.

Le seul point en discussion concerne l'intérêt pratique de faire intervenir une caractéristique supplémentaire qui est la compatibilité structurelle entre les véhicules qui entrent en collision. Il est possible de concevoir des véhicules qui produiront des lois de décélération différentes lors d'une collision, leurs structures ayant été conçues pour réduire l'agressivité du véhicule lourd heurtant frontalement un véhicule léger. Ces différences font appel à la notion de « raideur » mécanique d'un véhicule. Sans entrer dans le détail de cette caractéristique, il est possible de la résumer en indiquant qu'un véhicule d'une masse donnée peut avoir un avant plus déformable qu'un autre véhicule de même masse. Cette caractéristique ne joue pas seulement sur la loi de décélération que subira le véhicule adverse, il va également agir sur les décélération subies par l'occupant ceinturé et éventuellement retenu par des sacs gonflables. Un avant déformable représente de la distance d'arrêt supplémentaire et donc du temps supplémentaire pour subir la variation de vitesse, ce qui permettra à la fois de réduire le maximum de décélération et la décélération moyenne. Les constructeurs tentent d'optimiser les contraintes subies par les occupants en associant des possibilités de déformation qui

vont réduire la « brutalité » du choc, à une rigidité de l'habitacle qui permettra d'éviter les phénomènes « d'intrusion » défavorables à la protection. Ils peuvent également tenir compte de la masse des véhicules et optimiser les caractéristiques respectives de véhicules de masses différentes pour éviter des pics de décélération très brutaux aux occupants des véhicules les plus légers.

Des divergences se sont manifestées entre les participants au groupe de travail, non sur la réalité de ces problèmes de compatibilité structurelle, mais sur la part de progrès qui pourront être réalisés dans l'avenir par une meilleure prise en compte de l'exigence de compatibilité et sur les délais qui seront nécessaires. Certains « progressistes » y voyaient une source importante de réduction des risques pour les occupants de véhicules relativement légers, d'autres plus sceptiques estimaient qu'elles demeureraient limitées si les poids continuaient de s'accroître, les lois de la physique demeurant incontournables et la variation de vitesse ne pouvant que dépendre directement des rapports entre les masses. Dans la situation actuelle, sans norme ni obligation pour obtenir cette optimisation de la compatibilité structurelle, il est impératif de faire évoluer les poids des véhicules les plus répandus (les berlines de 4/5 places), dans des limites plus étroites que celles observées actuellement, donc de pénaliser tous les véhicules très lourds et pas seulement les 4x4. Pour éviter toute confusion entre l'effet propre des vitesses maximales et des masses respectives des véhicules dans la production de dommages chez les autres conducteurs et les effets liés à la structure des véhicules (formes et caractéristiques mécaniques de leurs déformations lors d'un impact), le groupe utilise systématiquement le terme d'agressivité pour désigner le premier groupe de faits et de compatibilité pour le second.

Si les constructeurs se mettent d'accord entre eux ou si l'Union Européenne est capable de leur imposer de nouvelles normes concernant la compatibilité structurelle entre les véhicules, il sera utile de prendre en compte ces nouvelles dispositions dans l'évaluation du caractère citoyen des véhicules, mais il faut conserver à l'esprit les notions suivantes :

- si ces normes sont optimisées et applicables à tous les véhicules, elles ne constitueront pas un facteur de différenciation de leur citoyenneté,
- il est possible que ces nouvelles dispositions réglementaires soient effectives seulement dans une dizaine d'années, elles peuvent également ne jamais voir le jour,

Dans l'attente de ces évolutions, le facteur utilisable pour noter la protection des utilisateurs d'autres véhicules ne peut être évalué que par une variable dépendant de sa vitesse de circulation et de sa masse.

Les liens entre les différentes valeurs utilisables pour définir la voiture citoyenne.

C'est une base de données concernant 841 versions de 100 véhicules testés par l'EuroNCAP avec le nouveau test de protection de piétons qui a été utilisée pour faire ces comparaisons. Il est important d'envisager les relations qui unissent entre elles les variables « mécaniques » et leurs relations avec d'une part la consommation des véhicules et d'autre part des estimateurs validés du risque, tel que le classement par les assureurs.

Les liens entre les variables qui déterminent la vitesse maximale des véhicules

La vitesse maximale est déterminée par la puissance maximale du moteur, le poids du véhicule, sa surface frontale, son coefficient de pénétration dans l'air, et les caractéristiques de sa transmission qui doivent être optimisées pour utiliser au mieux la puissance maximale délivrée à un certain régime. Nous ne possédons pas toutes ces variables pour les véhicules étudiés, mais il est facile de constater que la puissance est l'élément prépondérant.

Analyse de régression - Modèle linéaire: $Y = a + b \cdot X$

Variable à expliquer: VMAX
Variable explicative: PUIS DIN

Paramètre	Estimation	Erreur type	T	Proba.
Ordonnée	142,541	1,24808	114,208	0,0000

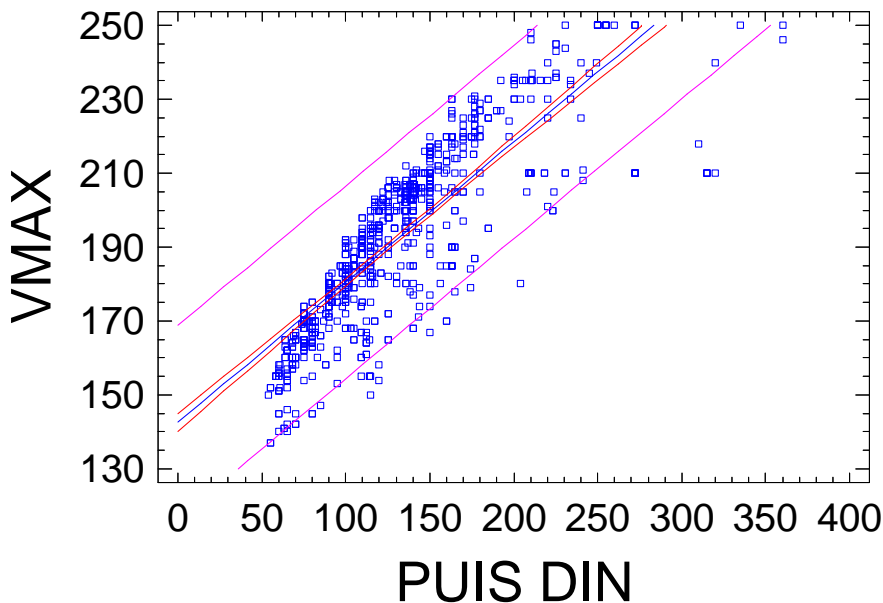
Pente 0,379527 0,00882672 42,9975 0,0000

Analyse de variance

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Proba.
Modèle	327530,0	1	327530,0	1848,78	0,0000
Résidu	148637,0	839	177,16		
Total (Corr.)	476168,0	840			

Coefficient de corrélation = 0,829365
 R-carré = 68,7847 %
 R-carré (ajusté pour les ddl) = 68,7475 %
 Estimation de l'écart-type du résidu = 13,3102
 Erreur absolue moyenne = 10,3558
 Test de Durbin-Watson = 0,556123 (P=0,0000)
 Autocorrélation résiduelle d'ordre 1 = 0,720868

relation entre puissance et vitesse maximale



Du fait de la croissance non linéaire des besoins en puissance pour accroître la vitesse, il est possible d'améliorer encore la corrélation entre les deux variables en utilisant une fonction fondée sur la puissance affectée d'un exposant inférieur à 1. Elle accroît le coefficient de corrélation de 0,83 à 0, 87

Régression simple - VMAX en fonction de PUIS DIN

Analyse de régression - Modèle multiplicatif: $Y = a \cdot X^b$

Variable à expliquer: VMAX
 Variable explicative: PUIS DIN

Paramètre	Estimation	Erreur type	T	Proba.
-----------	------------	-------------	---	--------

Ordonnée	3,84354	0,0271326	141,658	0,0000
Pente	0,292901	0,00562522	52,0693	0,0000

NOTE: ordonnée à l'origine = ln(a)

Analyse de variance

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Proba.
Modèle	9,84436	1	9,84436	2711,21	0,0000
Résidu	3,0464	839	0,00363098		
Total (Corr.)	12,8908	840			

Coefficient de corrélation = 0,873886

R-carré = 76,3676 %

R-carré (ajusté pour les ddl) = 76,3394 %

Estimation de l'écart-type du résidu = 0,0602576

Erreur absolue moyenne = 0,0456145

Test de Durbin-Watson = 0,471227 (P=0,0000)

Autocorrélation résiduelle d'ordre 1 = 0,762738

L'équation du modèle ajusté est

$$VMAX = 46,6905 * PUIS\ DIN^{0,292901}$$

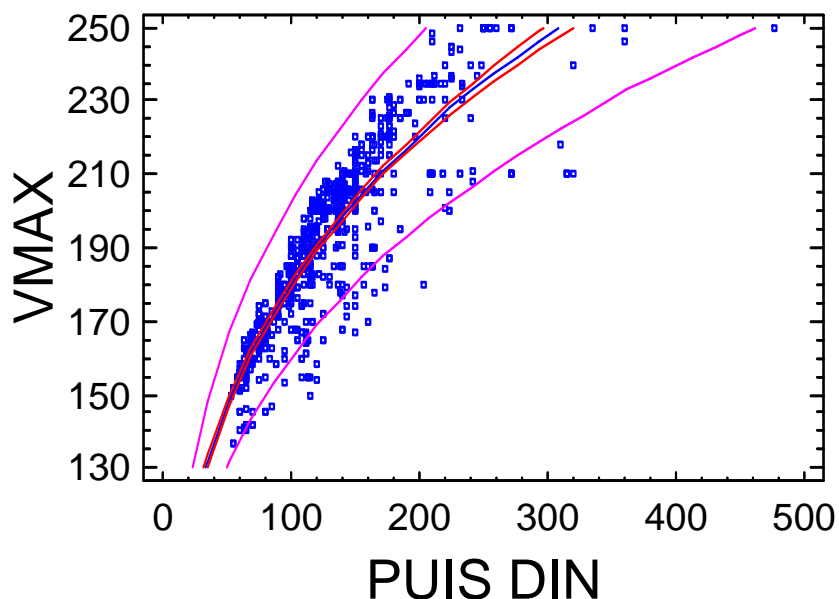
ou

$$\ln(VMAX) = 3,84354 + 0,292901 * \ln(PUIS\ DIN)$$

Comme la valeur de la probabilité dans le tableau de l'ANOVA est inférieure à 0.01, il y a un ajustement statistiquement significatif entre VMAX et PUIS DIN au niveau de confiance de 99%.

La statistique de R-carré indique que le modèle ajusté explique 76,3676% de la variabilité dans VMAX après transformation logarithmique pour linéariser le modèle.

corrélation avec un modèle multiplicatif



Liens entre consommation, puissance maximale, type de carburant, poids et vitesse maximale.

Ces relations sont particulièrement intéressantes, car elles mettent en évidence l'absurdité de la production de voitures inutilement puissantes et lourdes même dans des conditions d'usage normalisées qui ne leur permettront pas d'utiliser toutes leurs possibilités. Nous savons que le cycle urbain normalisé utilisé pour mesurer la consommation est loin de représenter les résultats d'une conduite sportive. C'est à l'opposé un cycle correspondant à un usage très « paisible » d'un véhicule. Malgré ces caractéristiques de la norme, la consommation en ville est directement déterminée par la puissance maximale du véhicule, le type de carburant utilisé et son poids.

Nous avons montré la force de la relation entre la vitesse maximale d'un véhicule et sa puissance maximale (coefficient de corrélation de 0,87). Il est important de mettre également en évidence les relations entre plusieurs variables dont la combinaison détermine la consommation. Expliquer la consommation en cycle urbain par la puissance maximale, la vitesse maximale, le poids total autorisé en charge et le type de carburant utilisé peut se faire en calculant une régression multiple à partir de ces variables. Cette méthode simple montre que 89% de la variance de la consommation peut être expliquée par ces quatre variables.

Liens entre les groupes des assureurs (SRA) et des variables caractérisant le véhicule

Quand un nouveau véhicule est commercialisé, SRA calcule le groupe dans lequel il sera classé pour établir le prix à payer pour l'assurer (prime). La formule mathématique utilisée a été établie à partir de données concernant un très grand nombre d'accidents, elle produit une valeur corrélée aux dépenses moyennes des assureurs pour un modèle donné.

Cette formule se compose de deux grandes parties, la première déterminée par des caractéristiques simples, le poids, la puissance, la vitesse maximale, la seconde est une note de conception technique variant avec les dispositifs de protection et les coûts de réparation. La constante initiale égale à 20 n'a pas d'autre but que d'augmenter à l'identique pour tous les modèles la valeur finale du groupe, ce qui évite la confusion avec l'ancienne méthode de fixation du groupe qui produisait des valeurs variant entre 4 et 20.

Le groupe est égal à :

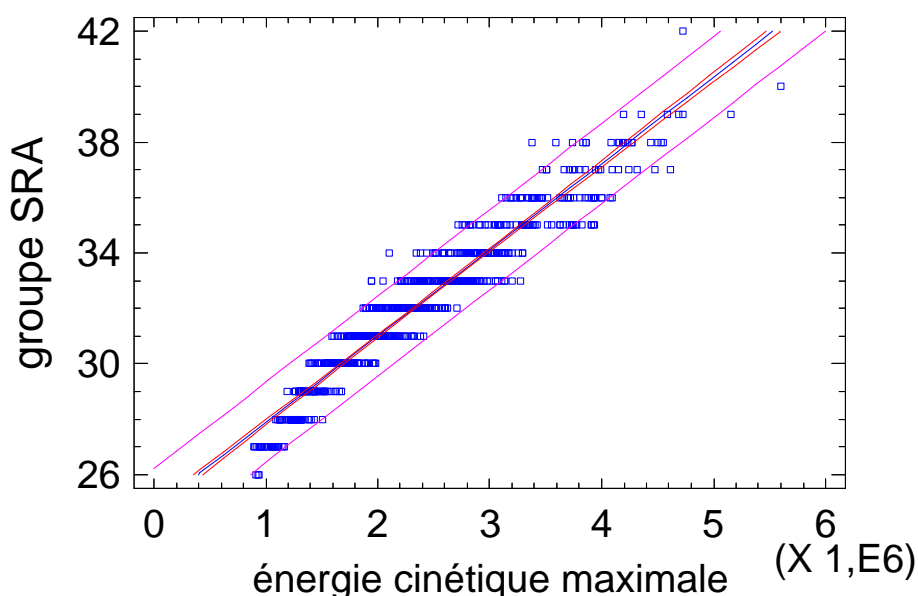
- 20 +
- $(27,88 \times (\text{puissance en chevaux DIN} / (\text{masse à vide en kilogrammes} + 200))) +$
- $(1/13 \times (\text{vitesse maximale en km/h} - 130)) +$
- $(0,00283 \times \text{PTAC})$
- la valeur produite par cette première partie de la formule est ensuite multipliée par $(1 + \text{note de conception})$

Il est nécessaire de déterminer l'importance de la pondération par la note de conception du véhicule. Elle est facile à établir en calculant le groupe de nos 841 versions avec la première partie de la formule et en le comparant à la valeur obtenue par SRA avec la totalité de la formule. Le coefficient de corrélation est très élevé, indiquant une intervention très faible de la seconde partie de la formule, tout au moins pour les véhicules courants qui sont ceux testés par l'EuroNCAP et que nous avons utilisé dans la présente analyse. Le coefficient peut être beaucoup plus pénalisant pour des véhicules « atypiques ».

Il est utile d'analyser les relations entre le groupe des assureurs et des variables construites à partir de données physiques simples pouvant traduire la notion « d'agressivité » des véhicules vis-à-vis des occupants d'autres usagers de voitures particulières. Il faut remarquer que la prise en compte de la vitesse dans la formule des assureurs est intéressante par sa référence au 130 km/h qui est la vitesse maximale autorisée sur les autoroutes en France. C'est « l'excédent de vitesse » par rapport à 130 qui va accroître la valeur finale du groupe et non la prise en compte directe de la vitesse maximale en km/h. Cette façon de procéder pénalise particulièrement les véhicules dont la vitesse maximale est très élevée, comme peut le faire l'élévation de la vitesse maximale au carré dans le calcul de l'énergie cinétique maximale. Il n'est donc pas surprenant que le groupe des assureurs soit fortement corrélé à $\frac{1}{2} mv^2$.

Une régression simple entre groupe des assureurs et énergie cinétique maximale produit un coefficient de corrélation de 0,96. Il n'y a donc qu'une très faible différence entre les deux variables, ce qui n'est pas surprenant. Il y a longtemps que nous savons que les dommages produits par un véhicule dépendent de sa vitesse maximale et de sa masse. Le lien est de nature statistique et il est très puissant. Cela ne signifie pas qu'un conducteur respectueux des règles et des autres ne puisse conduire un véhicule inutilement lourd et rapide sans excès de risque, mais que l'ensemble des conducteurs conduisant de tels véhicules sera confronté à un plus grand nombre de situations dans lesquelles leur vitesse excessive dans le contexte où ils se trouvent produira l'accident, le poids excessif de leur véhicule provoquant des dommages importants chez les autres usagers.

corrélation entre les groupes SRA et l'énergie cinétique maximale



Il était également intéressant de comparer la notion de « quantité de mouvement » au classement des assureurs. Cette quantité égale à MV donne relativement plus d'importance à la masse qu'à la vitesse maximale que ne le fait l'énergie cinétique maximale. Le coefficient de corrélation s'abaisse légèrement à

0,90 alors qu'il était de 0,96 avec l'énergie cinétique maximale. Ce constat est en accord avec l'importance dans la formule de SRA de la soustraction de 130 de la vitesse maximale que peut atteindre le véhicule, avant de multiplier cette différence par le coefficient de 1/13. Si le véhicule peut atteindre 170 km/h, la différence est de 40, s'il peut atteindre 210 la différence est de 80. Il y a donc eu un doublement de l'influence de la variable vitesse pour un accroissement de 40% de la vitesse de 170 à 210 km/h.

Ces constatations permettent d'affirmer que l'usage de l'énergie cinétique maximale d'un véhicule, ou du classement de ce véhicule dans un groupe de tarification par les assureurs, sont des procédures très proches. Nous aurions classé et noté les véhicules avec des résultats peu différents en utilisant l'une ou l'autre méthode. La facilité d'usage de la formule de calcul de l'énergie cinétique maximale et son rôle pédagogique pour montrer l'importance de la vitesse et du poids dans la production des dommages nous ont fait retenir cette variable comme un bon indicateur de l'agressivité des voitures particulières.

Comment a été constituée la base de voitures particulières permettant d'établir un classement et de disposer de possibilités de comparaisons lorsque des véhicules nouveaux sont commercialisés ?

Le nombre de modèles de base testés par l'EuroNCAP depuis le 1^{er} janvier 2002 et encore commercialisés fin 2005 est de 98. Leur liste est disponible dans la table que nous avons dénommée « EuroNCAP0905 » pour indiquer sa mise à jour en septembre 2005.

Elle comporte donc 98 lignes, 9 variables sont disposées en colonnes (sans caractères accentués pour pouvoir être incorporées dans des logiciels de traitement de bases de données ne supportant pas les accents) :

- num : numéro d'ordre allant de 1 à 102 (les numéros des modèles qui ne sont plus commercialisés ont été supprimés), ce numéro est une clé unique pour la table, elle permet de faire le lien avec la seconde table.
- classeEncap : nombre allant de 1 à 9 qui correspond aux différentes classes retenues par l'EuroNCAP, elles sont dans l'ordre du site internet de cet organisme (superminis, small family cars, large family cars, executive cars, roadsters, large off roaders, small off roaders, small MPVs et MPVs)
- marque : la marque,
- modeleEncap : le modèle et la version testée,
- annee : année du test (elle doit être égale ou postérieure à 2000 pour que être retenue)
- poids : poids tel qu'il est défini dans le protocole EuroNCAP, c'est un poids à vide, les 88 kg du mannequin adulte, les 26 kg des deux mannequins d'enfants et les 36 kg de bagages sont ajoutés ensuite.
- frontal, lateral, total : notes sur les trois types de protection des occupants (total peut être supérieur à la somme des deux notes précédentes quand des dispositifs particuliers concernant les ceintures de sécurité sont présents)
- etoileoccupant : étoiles pour la protection des occupants
- pieton : note de protection des piétons
- etoilepieton : étoiles pour la protection des piétons

L'association de cette première base de données avec les sources permettant d'identifier les différentes versions commercialisées nous a permis d'établir une seconde table de données à partir de plusieurs sources différentes, notamment le site internet de l'adème, celui des assureurs (SRA), des revues spécialisées et les sites internet des constructeurs. Cette table est dénommée « voici0905 ».

Les variables ont une dénomination le plus souvent explicite, cependant il faut préciser le sens de certaines d'entre elles :

- marque
- modèle et version
- carburant
- filtre : indique la présence d'un filtre à particules (FAP) ou l'absence de filtre (SF) sur les véhicules diesel. Le renseignement n'est pas toujours disponible sur les sources dont nous disposons et si le modèle acheté est doté d'un filtre à particules sans que cette version apparaisse sur notre base, il de retrancher un point à la note obtenue pour tenir compte de ce fait. La situation est très évolutive sur ce critère, de nombreux véhicules viennent d'être équipés de FAP ou le seront dans les mois à venir

- noteglobale : note obtenue en faisant la somme des notes pour chacun des quatre axes, elle est donc sur vingt
- classement de l'ensemble des différentes versions
- noteagressivité : note sur cinq obtenue à partir de l'énergie cinétique maximale
- prooccupants : étoiles obtenues pour la protection des occupants (valeur sur 5)
- propietons : étoiles obtenues pour la protection des piétons (valeur sur 5)
- noteconso : note sur cinq obtenue à partir de la consommation en cycle urbain
- numencap : correspond au numéro du modèle dans la table EuroNcap
- boite (manuelle, automatique ou particulière)
- poids à vide : concerne la version notée
- poids Encap : poids du modèle et de la version testée par l'EuroNCAP
- diffdepoids : différence de poids en plus ou en moins par rapport au modèle testé par EuroNcap (en %)
- consourb : consommation en cycle urbain
- consoexurb : consommation sur route
- consomixte : consommation dans un cycle mixte
- oxydedecarbone : poids de dioxyde de carbone produit au kilomètre dans un parcours mixte
- vmax : vitesse maximale
- ecmax : énergie cinétique maximale en kilojoules

Nous avons retenus des modèles de carrosserie qui sont ceux testés par EuroNcap quand le renseignement pouvait être obtenu, ce qui n'est pas toujours facile à partir des photos présentées sur le site EuroNcap, notamment pour le nombre de portes (3 portes et 5 portes). Les coupés et les breaks n'ont pas été retenus, sauf quand un essai spécifique est disponible (Mégane CC et 307 CC). Il est bien entendu possible d'utiliser la table pour classer un break non testé dont on connaît par ailleurs le poids, la vitesse maximale et la consommation en ville, mais les résultats peuvent être imprécis et nous avons préféré éviter cette extension du sens des tests EuroNcap. Le nombre de versions retenues pour les 98 modèles est de 772.

Analyse des notes obtenues pour les quatre axes de valeurs.

Il est utile de commencer par une observation des distributions de ces notes, pour comprendre les éventuelles raisons de leur asymétrie et la signification des valeurs zéro quand un effet de seuil a été créé par la méthode de calcul de la note de consommation et de la note d'agressivité.

Protection des occupants et des piétons

Le nombre de modèles de base testés par l'EuroNCAP depuis le 1^{er} janvier 2002 et encore commercialisés fin 2005 est de 98. Leur liste est disponible dans la table que nous avons dénommée « EuroNCAP0905 » pour indiquer sa mise à jour en septembre 2005. Le nombre de classes de résultats est limité à quatre puisqu'il n'y a pas de véhicule classé au dessous de 2. Il est utile de comparer la distribution de ces 98 modèles de véhicules entre ces classes de résultats et celle de la base constituée des différentes versions qui seront notées sur les deux autres axes pour définir leur caractère citoyen. Cette comparaison permet de vérifier l'absence de discordance importante entre les répartitions de véhicules dans ces classes. Les « meilleurs véhicules » qui ont obtenu cinq étoiles sur ce critère de la protection des occupants ont en moyenne neuf versions, et le groupe obtenant quatre étoiles en a un peu moins. Le nombre moyen de versions s'abaisse au dessous de 5 pour les véhicules ayant obtenu 3 étoiles.

Tableau 1 – protection des occupants

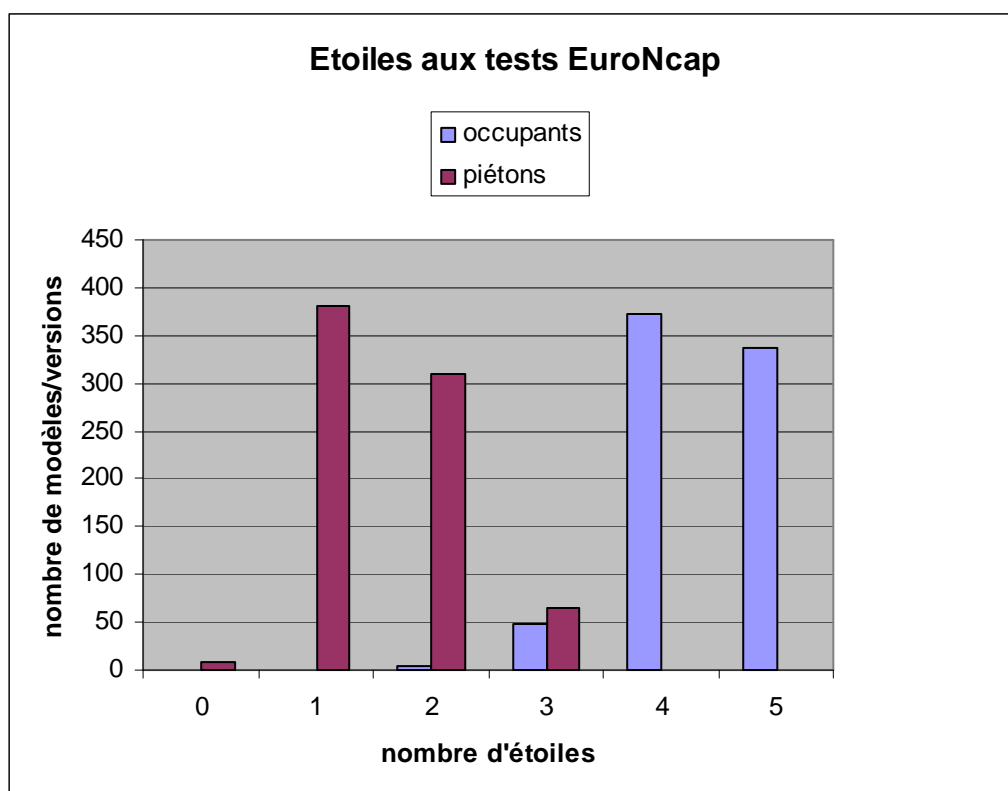
	EuroNcap (modèles)	Base VOICI (modèles/versions)
2 étoiles	1	4
3 étoiles	10	47
4 étoiles	50	379
5 étoiles	37	342
total	98	772

Avec le même objectif, le tableau 2 présente la distribution du nombre de versions dans la base EuroNcap (98 modèles) et dans la base « Voiture Citoyenne » (772 modèles/versions) en fonction de la note de protection des piétons. Le nombre moyen de versions par modèle n'est pas très différent d'une classe à l'autre (7 à 10 versions par modèle, sauf pour la classe des 2 modèles notés zéro).

Tableau 2 : protection des piétons

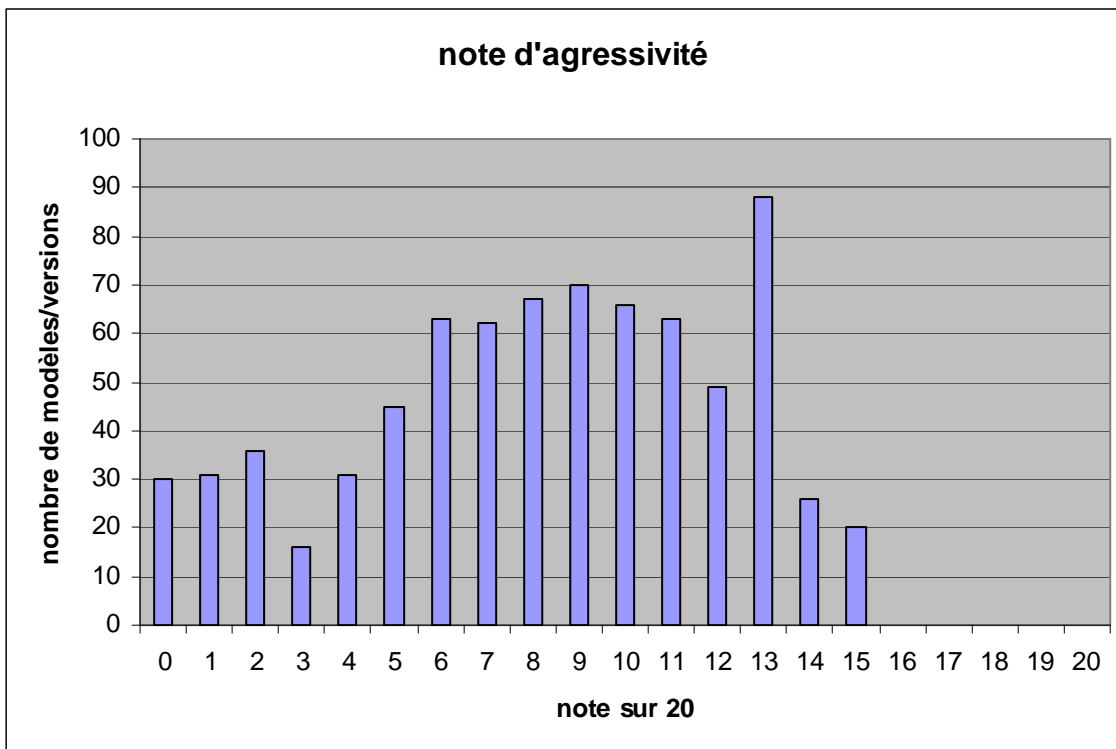
	EuroNcap (modèles)	Base VOICI (modèles/versions)
0	2	8
1 étoile	50	381
2 étoiles	37	319
3 étoiles	9	64
Total	98	772

Un graphique associant les deux ensembles de notes de protection provenant des tests EuroNCAP met en évidence le décalage de la distribution des notes de protection des occupants vers des valeurs élevées et à l'opposé celui des notes de protection des piétons vers des valeurs faibles.



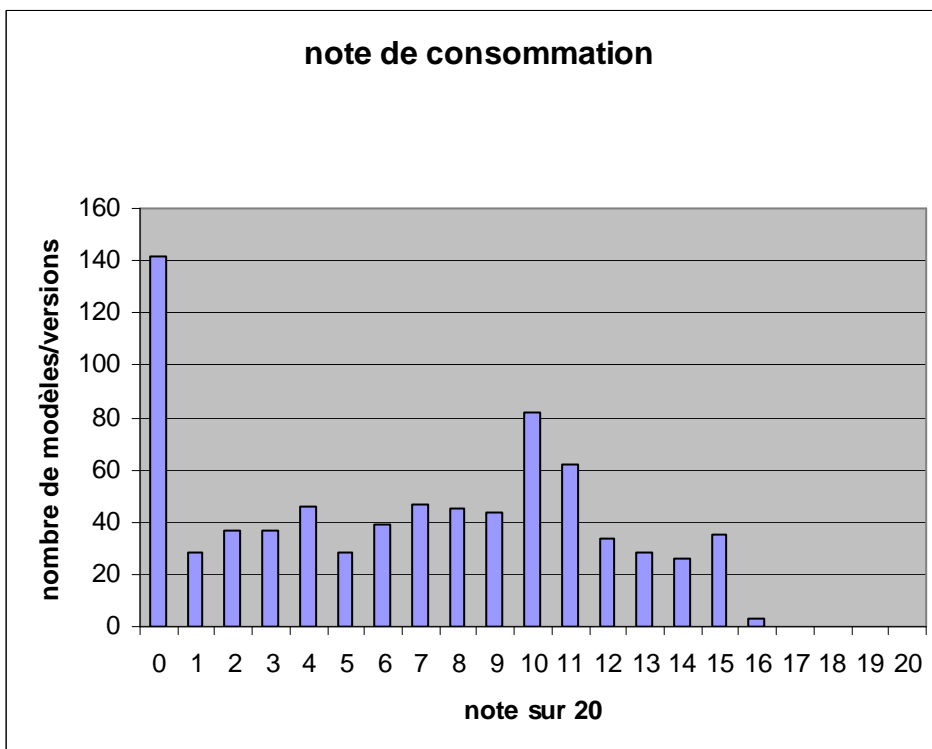
Protection des occupants des autres véhicules

C'est la notation sur 20 qui est utilisée dans le graphique représentant la distribution des modèles et des versions sur ce critère. Si l'importance de la réduction de l'agressivité avait été prise en compte et encouragée par les pouvoirs publics, notamment en utilisant une réglementation dissuasive, nous disposerions d'un nombre important de versions notées 16 ou 17, c'est-à-dire incapables de développer une énergie cinétique dépassant 600 kilojoules. Les véhicules obtenant des notes allant de 0 à 12, voire 13 témoignent de l'incapacité des sociétés industrielles à maîtriser certaines dérives technologiques.



Protection de l'environnement

Il faut remarquer l'importance de l'offre de véhicules qui ont des consommations en ville très élevées, supérieure à 13 litres au cent kilomètres. La note sur cet axe de protection est alors zéro.

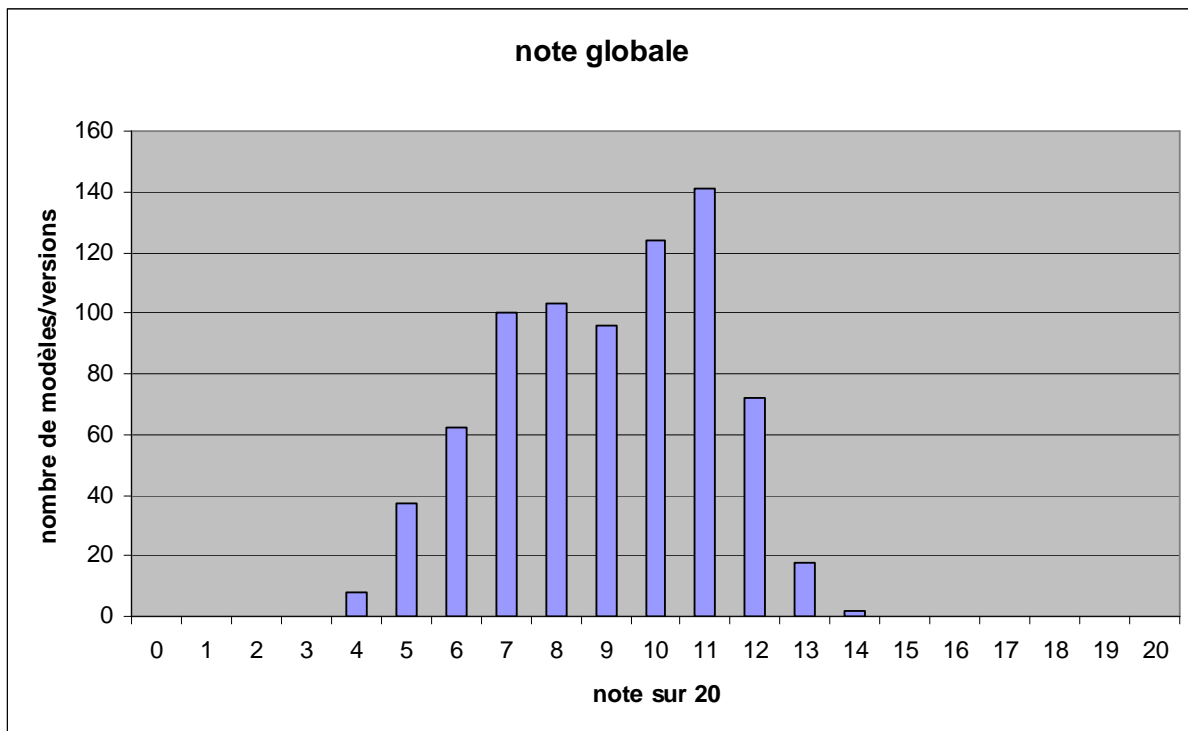


Distribution des notes globales

En tenant compte de la présence d'un filtre à particules quand nous disposons de ce renseignement :

- nous constatons que seulement deux véhicules dépassent la note 14, il s'agit de deux versions essence de la nouvelle Fiat Punto qui ont une faible agressivité du fait d'une masse proche d'une tonne et d'une vitesse maximale respectivement de 155 et 165 km/h. Les étoiles obtenues à l'EuroNCAP (5 et 3) représentent le meilleur score possible dans cette association d'une très bonne protection des occupants et d'une bonne protection des piétons (52 modèles/versions de 5 modèles de base ont atteint ce total de 8, outre la Fiat Punto, il s'agit de la Citroën C4, de la Seat Altea, et de 2 modèles de Volkswagen, la Touran et la Golf).
- 19 combinaisons modèles/versions ont 13 ou plus et moins de 14. Il est intéressant de remarquer qu'une Citroën C4, qui est une voiture ayant un volume habitable important, se classe dans le haut de cet intervalle dans une version équipée d'un filtre à particules. L'analyse de cet exemple montre comment un véhicule peut se révéler meilleur qu'un autre par ses bonnes notes sur plusieurs axes, même si l'un d'entre eux est moins satisfaisant sans être très mauvais. La C4 diesel avec FAP a une bonne note de protection de l'environnement et elle est comme nous venons de le voir dans les meilleures sur la combinaison des deux protections testées par EuroNCAP (5 +3). Ces trois bons axes compensent une vitesse maximale excessive (192 km/h) et une masse déjà élevée de 1270 kilos. Nous trouvons également dans cet intervalle de notes, 4 versions de la Honda Jazz, 3 versions de la Volkswagen Golf, deux autres Fiat Punto, la version 90 ch de la C4, une Suzuki Swift, une Peugeot 1007, la Prius et une Citroën C1.

Le graphique ci-dessous illustre la distribution des notes globales intégrant les 4 axes de protection retenus.



Calcul pratique des 4 composantes de la voiture citoyenne et de la note globale.

La **note de protection des occupants** est obtenue directement sur le site internet de l'EuroNcap www.euroncap.com ou sur la table que nous publions regroupant les valeurs des 98 véhicules testés depuis le 1^{er} janvier 2002 et encore commercialisés. La note sur 5 est égale au nombre d'étoiles.

La **note de protection des piétons** sur 5 est obtenue par le même procédé.

La **note de protection des occupants des autres voitures particulières** s'obtient en deux étapes. Il faut connaître le poids à vide et la vitesse maximale du véhicule :

Calcul de l'énergie cinétique maximale en kilojoules :

- multiplier la vitesse en mètres par seconde par elle même
- multiplier le résultat par la masse en tonnes auquel on ajoute 0,2
- diviser le résultat par deux
- si l'énergie cinétique maximale est supérieure à 4000 kilojoules, la note est zéro.

La note sur 20 est obtenue en soustrayant de 20 la valeur de l'énergie cinétique maximale divisée par 200 (ce qui signifie que chaque tranche de 200 kilojoules retire 1 point). Il faut ensuite diviser cette valeur par 4 pour obtenir une note sur 5 qui sera utilisée pour produire la note globale.

La note de protection de l'environnement utilise la consommation de carburant en ville exprimée en litres pour cent kilomètres, qu'il s'agisse de gazole ou d'essence. Si la consommation en ville est égale ou supérieure à 13 litres au cent kilomètres, la note est zéro, pour les valeurs inférieures, il faut :

- soustraire 3 de la valeur de la consommation et multiplier le résultat par 2 (ce qui signifie que chaque augmentation de 1 litre de la consommation retire 2 points à la note sur 20)
- soustraire le résultat obtenu de 20 pour avoir la note sur 20
- diviser ensuite par 4 pour avoir la note sur 5

Exemple : berline Citroën C4 dans sa version diesel de plus faible puissance (1.6 HDi 92)

Nous avons intentionnellement retenu ce modèle qui a de très bons résultats aux deux tests EuroNCAP et une faible consommation en ville, ce qui compense une vitesse déjà nettement excessive.

EuroNCAP occupants : 35 points aux tests soit cinq étoiles

EuroNCAP piétons : 22 points aux tests soit trois étoiles

Masse à vide : 1257 kg soit 1,457 Tonne avec une charge de 0,2 Tonne

Vitesse maximale : 180 km/h (50 mètres par seconde)

Consommation en ville : 5,9 litres pour cent kilomètres

Ces cinq valeurs permettent de calculer les quatre notes caractérisant chacun des axes, puis de faire la somme pour obtenir la note globale

Note 1 (protection des occupants) = 5

Note 2 (protection des piétons) = 3

Note 3 (protection des autres automobilistes) = 2,73

$\frac{1}{2} (1,457 \times 50^2) = 1821$ kilojoules soit une note de $20 - (1821/200) = 10,9$ soit 2,73 avec une notation sur 5

Note 4 (protection de l'environnement) = 3,55

$20 - ((5,9 - 3) \times 2) = 14,2$ sur 20 soit 3,55 avec une notation sur 5

Total $5 + 3 + 2,73 + 3,55 = 14,28$

Absence d'option avec filtre à particules = retrait d'un point, soit 13,28

Le modèle 110 chevaux qui peut être équipé d'un filtre à particules évitera de perdre un point du fait de l'absence de ce dispositif. Sa note de consommation est très légèrement supérieure à celle du 90 chevaux, sa consommation en ville passant de 5.9 à 6 litres, enfin sa note d'agressivité sera également supérieure, sa vitesse maximale étant de 192 km/h. Ses notes sont :

Note 1 (protection des occupants) = 5

Note 2 (protection des piétons) = 3

Note 3 (protection des autres automobilistes) = 2,73

$\frac{1}{2} (1,470 \times 53.33^2) = 2090$ kilojoules soit une note de $20 - (2090/200) = 10,45$ soit 2,61 avec une notation sur 5

Note 4 (protection de l'environnement) = 3,55

$20 - ((6 - 3) \times 2) = 14$ sur 20 soit 3,5 avec une notation sur 5

Total $5 + 3 + 2,61 + 3,55 = 13,88$

Autrement dit le modèle 90 chevaux à plus perdu sur sa note totale du fait de l'absence de possibilité d'équipement avec un filtre à particules qu'il n'a gagné par sa consommation légèrement plus faible et sa vitesse maximale inférieure de 12km/h à celle du modèle 110 chevaux.