▸HybrideHDi◂

SOMMAIRE

	PAGES
INTRODUCTION	2
I. HYBRIDE HDi : LE CHOIX D'UNE CHAÎNE DE TRACTION PERFORMANTE	4
II. LES PRINCIPAUX COMPOSANTS DE LA CHAÎNE DE TRACTION HYBRIDE DIESEL PSA PEUGEOT CITROËN ET LEUR INTÉGRATION DANS LA POLITIQUE DE PLATES-FORMES	9
III. LA RECHERCHE D'UN MODÈLE ÉCONOMIQUE VIABLE	16
CONCLUSION	18
ANNEXES	19

- Historique des recherches sur la chaîne de traction hybride chez PSA PEUGEOT CITROËN
- Architecture Hybride parallèle de Citroën C4 et Peugeot 307 Hybride HDi
- Fiche technique détaillée d'Hybride HDi
- Performances et consommations d'Hybride HDi

INTRODUCTION

Pour les constructeurs automobiles, la question des émissions de CO_2 est le défi environnemental majeur. Le niveau élevé du prix des carburants, ainsi que la perspective d'un pétrole durablement plus cher, constituent des incitations supplémentaires pour agir.

Depuis plusieurs années, ces défis sont au cœur de la politique de développement produit du groupe PSA PEUGEOT CITROËN. Celle-ci est basée sur des convictions fortes et se concrétise par des résultats tangibles.

- **Le moteur Diesel : un atout majeur pour maîtriser les consommations et les émissions de CO_2.**

Remplacer un moteur Essence par un moteur Diesel équivalent permet ainsi de réduire de 25 % les consommations.

- **Une politique environnementale responsable s'obtient par le déploiement de technologies sur des volumes significatifs.**

PSA PEUGEOT CITROËN a vendu en Europe, depuis quatre ans, plus de 1 100 000 véhicules à très faibles consommation et émissions (soit entre 4 et 4,5 l aux 100 km et moins de 120 g de CO_2 par km). En 2005, le groupe a réalisé une pénétration de 30 % sur le segment des véhicules de moins de 120 g et de 60 % sur celui des véhicules de 110 g et moins, alors que sa part de marché européenne se situe autour de 15 %. Ceci contribue à faire du groupe un des premiers constructeurs mondiaux en matière de véhicules écologiques.

Pour PSA PEUGEOT CITROËN, un tel résultat ne peut être atteint que si l'offre produit proposée est accessible économiquement au plus grand nombre, en cohérence avec sa vocation de constructeur généraliste.

- **La réponse au défi de la maîtrise des émissions de CO_2 est multiple.**

Plusieurs voies sont possibles en fonction des spécificités des marchés mondiaux et en particulier des ressources et matrices énergétiques développées par les différents pays.

Le groupe, longtemps précurseur avec le véhicule électrique, développe son offre, selon les marchés avec des véhicules fonctionnant au gaz ou aux bio-carburants (Ethanol et bio-Diesel).

A beaucoup plus long terme, la recherche sur la pile à combustible dévoile de réelles potentialités et le groupe mène, dans ce domaine, une veille technologique particulièrement active.

Plus près de nous, la technologie hybride, sur laquelle le groupe conduit des travaux depuis plus de dix ans, offre un attrait indéniable en dépit d'un coût beaucoup plus élevé que celui des motorisations classiques.

Peu compétitive économiquement, la technologie hybride essence ne creuse pas un écart significatif en consommation et émissions de CO_2 face au Diesel HDi.

En revanche, l'association d'une chaîne de traction hybride et d'un moteur HDi semble, pour PSA PEUGEOT CITROËN, une solution capable de proposer une véritable rupture en termes de consommation et d'émissions de CO_2 pour le marché européen sur lequel le Diesel est aujourd'hui fortement implanté.

C'est dans cette voie que le groupe s'est fortement mobilisé. Il dévoile aujourd'hui deux démonstrateurs représentatifs de la technologie retenue, leur intégration dans sa stratégie de plates-formes, ainsi que les résultats prometteurs obtenus en termes de consommation et d'émissions de CO_2.

I. HYBRIDE HDi : LE CHOIX D'UNE CHAÎNE DE TRACTION PERFORMANTE

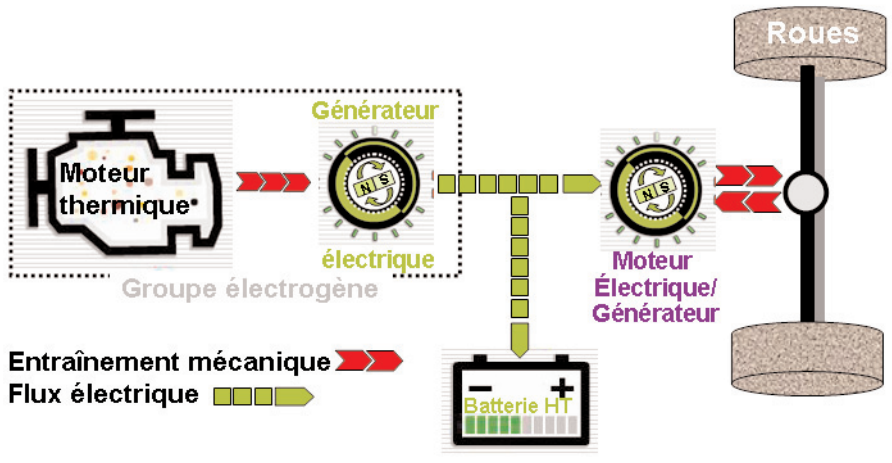
TROIS FAMILLES D'HYBRIDES

- **Hybride série :** le moteur thermique, associé à un générateur électrique, fait office de groupe électrogène en transformant l'énergie issue de la combustion en énergie électrique. Combinée à celle fournie par la batterie, cette énergie est ensuite utilisée par le moteur électrique, qui assure seul la propulsion du véhicule.

  Il n'existe donc pas de liaison mécanique entre le moteur thermique et les roues.

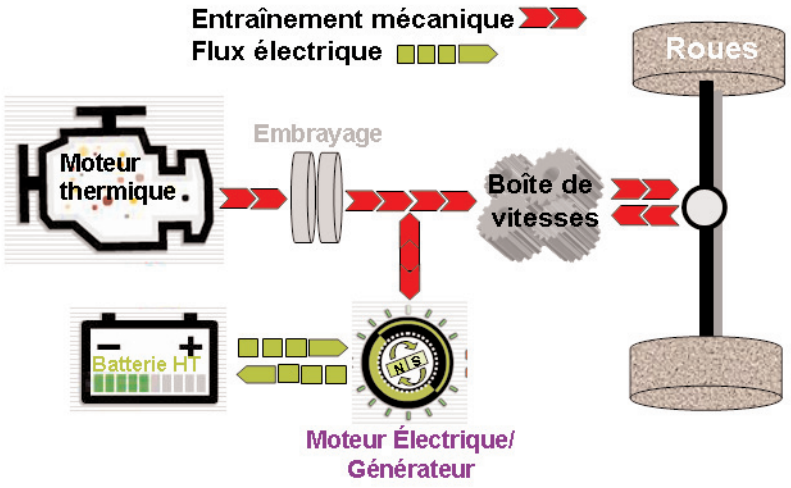
  Les multiples conversions d'énergie (thermique ➜ mécanique ➜ électrique ➜ mécanique) limitent le rendement maximal de cette chaîne de traction.

Architecture chaîne de traction hybride série



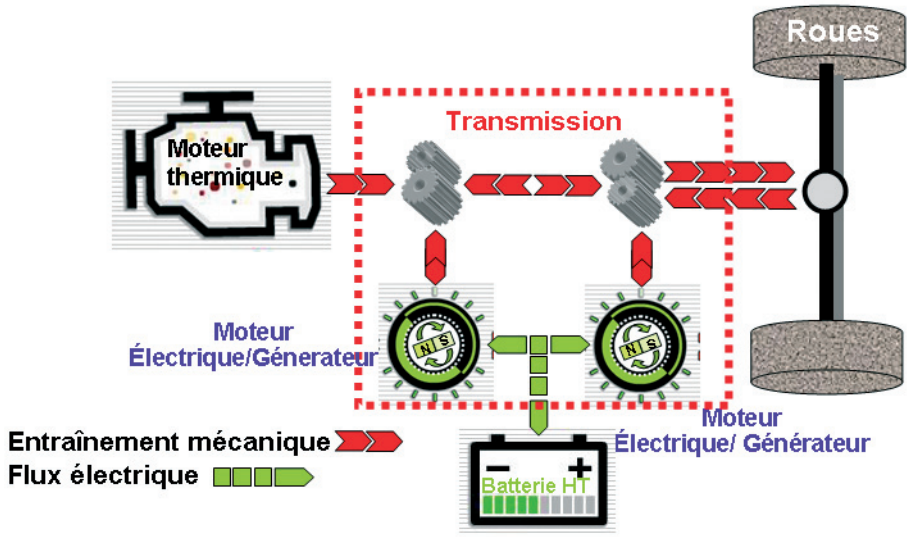
- **Hybride parallèle :** le moteur thermique sert principalement à déplacer le véhicule. Associé à une transmission d'un fonctionnement classique, on lui adjoint un moteur électrique qui utilise l'énergie des batteries.
  La récupération d'énergie cinétique pendant les phases de décélération et de freinage du véhicule assure la recharge des batteries.
  Les phases de roulage en mode électrique correspondent principalement aux situations où le moteur thermique est peu efficace, soit essentiellement à faible charge.

Architecture chaîne de traction Hybride parallèle



- **Hybride à dérivation de puissance :** identique au précédent sur le principe de fonctionnement, il s'en distingue uniquement par une transmission totalement dédiée, dotée de machines électriques indispensables à son fonctionnement. La puissance délivrée par le moteur thermique suit deux chemins distincts : l'un mécanique, l'autre électrique. L'usage des machines électriques limite le rendement de la transmission dans certaines circonstances, spécialement lors des phases nécessitant la puissance maximale du moteur.
  Comme dans le cas de l'hybride parallèle, cette architecture offre la possibilité d'un mode de fonctionnement 100 % électrique.

Architecture chaîne de traction Hybride à dérivation de puissance



LE CHOIX DE PSA PEUGEOT CITROËN : L'HYBRIDE PARALLÈLE

La chaîne de traction et de freinage hybride Diesel développée pour 307 et C4 est de type "Hybride parallèle".

Ce choix s'inscrit dans la politique d'organes et de plates-formes du groupe, car il permet de récupérer un maximum de composants majeurs existants, moteur et boîte de vitesses en particulier. Par ailleurs, la puissance transmise aux roues par le moteur thermique, se fait essentiellement par voie mécanique, ce qui engendre un très bon rendement dans toutes les conditions de roulage (routier, autoroutier, montagne, remorquage…) et offre un remarquable niveau de consommation.

Pourquoi le choix d'un moteur thermique Diesel ?

Les travaux du groupe PSA PEUGEOT CITROËN montrent que la consommation d'une version hybride essence est voisine de celle obtenue par un véhicule thermique Diesel de caractéristiques identiques (masse, Scx, dimensions...). Quant au CO_2, le gain de la version hybride essence se limite à 10 %. Cependant, le prix de l'hybride essence serait très nettement supérieur à celui d'un véhicule Diesel équivalent.

Sur le marché européen, depuis la fin des années 90, le succès des motorisations Diesel haute technologie (HDi) n'a cessé de croître. Pour les voitures particulières, la motorisation Diesel représente aujourd'hui, en moyenne, une vente sur deux, contre une sur quatre en 1998. Dans certains pays, dont la France, la part du Diesel dans les ventes atteignait même 70 % en 2005. Ce développement continu démontre l'attente forte des consommateurs pour des véhicules à faible consommation, ne sacrifiant rien à l'agrément de conduite et compatibles avec leur pouvoir d'achat. De plus, avec l'appoint du filtre à particules, une innovation majeure de PSA PEUGEOT CITROËN équipant aujourd'hui plus de 1,3 million de véhicules de ses deux marques, les motorisations Diesel présentent un bilan écologique extrêmement favorable.

Dans ces conditions, les très faibles ventes des véhicules hybrides essence sur le marché européen s'expliquent assez logiquement en dépit des avantages fiscaux importants accordés par différents états membres de l'Union Européenne.

L'hybridation Diesel permet en revanche une véritable rupture en matière de consommation car elle allie le rendement exceptionnel du moteur Diesel, utilisé dans sa meilleure plage de fonctionnement, et l'apport du moteur électrique, particulièrement adapté aux parcours urbains.

Hybride HDi : un cahier des charges ambitieux visant une consommation inférieure à 3,5 l.

Dès le démarrage du projet, les ingénieurs du groupe se sont fixé des objectifs ambitieux. Le plus important consistait à intégrer la technologie Hybride HDi sur des véhicules familiaux de grande diffusion, issus de la politique de plates-formes du groupe.

Les avantages de l'hybridation en usages urbain et routier nous permettent d'obtenir une consommation homologuée de **3,4 l** aux 100 km en cycle mixte, soit **90 g de CO_2** par km du réservoir à la roue, ce qui constitue une avancée majeure. Le gain, par rapport à un véhicule similaire équipé d'une chaîne de traction hybride essence, est de l'ordre de 25 %, soit 1 litre aux 100 km sur cycle mixte, ce qui se traduit en particulier par une autonomie significativement accrue. En usage autoroutier, les qualités intrinsèques du moteur 1,6 l HDi utilisé seul, associées à sa transmission mécanique pilotée qui présente un excellent rendement, permettent également d'obtenir un gain de 25 % en consommation.

Enfin, l'agrément de conduite n'a pas été sacrifié. Mieux, Hybride HDi offre aux utilisateurs un agrément supplémentaire dans deux domaines :

- d'une part, en ville et à faible vitesse, par la mise en veille du moteur thermique et le fonctionnement en tout électrique (ZEV : Zero Emission Vehicle) qui confère au véhicule un confort acoustique et vibratoire élevé ;

- d'autre part, en offrant des reprises significativement améliorées par rapport à un véhicule thermique, de puissance équivalente, lors de sollicitations du conducteur. Ainsi, par rapport au moteur thermique seul, le conducteur bénéficie ponctuellement d'un complément de puissance délivré par le moteur électrique pouvant aller jusqu'à 23 kW.

II. LES PRINCIPAUX COMPOSANTS DE LA CHAÎNE DE TRACTION HYBRIDE DIESEL PSA PEUGEOT CITROËN ET LEUR INTÉGRATION DANS LA POLITIQUE DE PLATES-FORMES

Au sein du groupe PSA PEUGEOT CITROËN, la DRIA (Direction de la Recherche et de l'Innovation Automobile) mène des projets répondant au double objectif de fournir aux automobilistes des solutions innovantes et utiles, tout en restant à des coûts abordables, compatibles avec l'offre produit des marques du groupe.

Le projet Hybride HDi, tout au long de son développement et en capitalisant sur les acquis du groupe dans le domaine des hybrides, s'est inscrit dans ces grandes lignes directrices.

Pour ces raisons, Hybride HDi fait largement appel à la réutilisation de composants et organes (*carry-over*) tout en déployant des solutions techniques éprouvées en grande série et optimisées pour l'hybride.

LES PRINCIPAUX COMPOSANTS DE LA CHAÎNE DE TRACTION HYBRIDE DIESEL

- **Moteur thermique et système de dépollution.**

Le choix s'est porté sur l'un des moteurs haute technologie de la banque d'organes du groupe : le moteur 1,6 l HDi de 66 kW, associé au système Stop & Start de dernière génération.

Des adaptations ont été réalisées afin de rendre ce moteur compatible avec une chaîne de traction hybride.

En particulier, le pilotage du moteur est spécifique et se fait au travers de consignes directement coordonnées par le superviseur de la chaîne de traction. Elles intègrent notamment les démarrages/arrêts moteur tout en garantissant le couple demandé à la roue par le conducteur.

Par ailleurs, afin d'assurer un niveau d'émissions exemplaire, le moteur a été doté d'un filtre à particules de dernière génération permettant d'assurer une performance supérieure à Euro IV.

Le compromis entre consommation et émissions de NOx a pu être optimisé en tenant compte du degré de liberté offert par l'hybridation. Ainsi, l'utilisation des capacités du moteur électrique a permis de placer le moteur thermique sur ses meilleurs points de fonctionnement et de maîtriser la gestion des temps d'arrêt moteur.

■ Boîte de vitesses pilotée.

Hybride HDi utilise une boîte de vitesses pilotée à 6 rapports. Cette boîte, sans pédale d'embrayage, qui résulte de l'automatisation d'une boîte manuelle, offre un très bon rendement. Le pilotage hydraulique de la boîte optimise les temps de passage, renforçant ainsi l'agrément d'utilisation. Simultanément, elle offre la maîtrise permanente de la chaîne de traction par la sélection, en temps réel, du point de fonctionnement optimal. Cette boîte de vitesses permet ainsi d'assurer le meilleur compromis entre consommation, accélération, freinage, agrément, dépollution. Elle laisse au conducteur la possibilité d'opter indifféremment pour le mode automatique ou pour le mode séquentiel de passage des vitesses.

L'utilisation d'une boîte automatique a été envisagée mais finalement rejetée après analyse. En effet, les pertes dues aux nombreux mécanismes de friction et à son système hydraulique pénalisent les rendements, ce qui apparaît comme inacceptable dans le cadre d'un projet visant de très faibles consommations.

■ Système Stop & Start (STT).

Le système Stop & Start mis en œuvre dans la chaîne de traction hybride HDi est basé sur la technologie intégrée dans les Citroën C3 et C2 éponymes.

Ce nouveau système de Stop & Start dispose d'une puissance motrice supérieure de 40 % à la première génération, pour permettre le démarrage du moteur 1,6 l Diesel.

Dans la chaîne de traction hybride, le STT assure le redémarrage du moteur thermique. Sur C3, le STT était mis en œuvre exclusivement lors des phases d'arrêt puis de redémarrage du véhicule. Pour Hybride HDi, la fonction de mise en veille du moteur peut intervenir à tout moment, en fonction de l'usage du véhicule, dès que sa vitesse est inférieure à 60 km/h. A chaque accélération soutenue, le système Stop & Start réveille, instantanément et automatiquement, le moteur thermique.

Moteur électrique et onduleur.

La puissance du moteur électrique développe 16 kW en continu avec un couple de 80 Nm. Il offre une puissance de crête à 23 kW et 130 Nm pour répondre à des sollicitations ponctuelles du conducteur. Un compromis architectural cohérent (encombrement/prestations) a été atteint pour permettre une compatibilité avec un usage en ville. La puissance a été déterminée pour assurer l'usage du mode électrique pur, pour des vitesses inférieures ou égales à 50 km/h, qui représentent typiquement les conditions d'utilisation urbaine d'un véhicule. Le système de contrôle de la chaîne de traction hybride opte pour cette configuration chaque fois que les conditions, en particulier l'état de charge des batteries, le permettent.

Le moteur électrique est de type synchrone à aimants permanents. Cette technologie offre actuellement le meilleur ratio performances/compacité. Associé à l'onduleur, il fonctionne dans une plage de tension comprise entre 210 et 380 volts. Les performances demandées au moteur électrique et à l'onduleur ne permettent pas, dans l'encombrement réduit qui leur est alloué, d'utiliser le circuit conventionnel de refroidissement moteur, dont la température usuelle est nettement trop élevée. Le refroidissement par eau est donc assuré à l'aide d'un radiateur spécifique et d'un circuit basse température à 60° C.

L'onduleur agit sur le couple du moteur électrique en régulant le courant en provenance du pack batterie haute tension, comme le fait une pompe à injection avec le carburant issu du réservoir, pour satisfaire une demande d'accélération.

Pack batterie haute tension.

Le pack batterie haute tension prend place dans la partie arrière de la plateforme 2 du groupe (base véhicule pour 307 et C4), à la place de la roue de secours, moyennant une adaptation légère de la géométrie de la découpe de cet emplacement. L'ajout des batteries ne s'opère pas au détriment de la capacité du coffre, qui demeure inchangée.

Le pack batterie haute tension est composé de 240 éléments de type Ni-MH (Nickel-Métal Hydrure). Leur puissance d'échange – restitution et absorption – ressort à 23 kW sous une tension nominale élevée de 288 Volts. Leur refroidissement est assuré par des écopes spécifiques récupérant l'air de l'habitacle tout en bénéficiant de la régulation de température de ce dernier.

Le pack batterie haute tension s'ajoute à la batterie classique 12V qui continue d'assurer ses fonctions habituelles.

- **Freinage récupératif piloté.**

Dans certaines phases (décélération ou freinage du véhicule), le dispositif de freinage piloté optimise la transformation de l'énergie cinétique en énergie électrique qui est alors stockée dans la batterie haute tension.

Cette énergie pourra ensuite être utilisée, soit en mode électrique pur, soit en appoint du moteur thermique lors de phases d'accélération.

Cette récupération permet ainsi d'utiliser une énergie devenue "gratuite" et de baisser d'autant les consommations.

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'HYBRIDE HDi

- **Un fonctionnement transparent pour le conducteur.**

La mise sous tension du véhicule avec la clef de contact habituelle se réalise sans démarrage du moteur thermique. En appuyant sur la pédale d'accélérateur, et selon la sollicitation exercée sur celle-ci, le moteur électrique peut, seul, déplacer le véhicule. Il sera relayé, si nécessaire, par le moteur thermique en cas de forte accélération. L'utilisation de la boîte de vitesses pilotée permet de bénéficier du rendement d'une boîte manuelle, tout en offrant l'automatisme nécessaire au pilotage de la chaîne de traction hybride. La décision et le passage des vitesses se font automatiquement, sans action du conducteur, sauf si ce dernier choisit le mode séquentiel.

L'ensemble de ces opérations est coordonné, de manière transparente, par le système de contrôle de la chaîne de traction et de freinage dénommé PTMU : *PowerTrain Management Unit*.

Pour privilégier une faible consommation, le PTMU sélectionne, en fonction des sollicitations du conducteur, le meilleur mode de fonctionnement. Ce dernier est obtenu grâce à l'utilisation, soit du moteur électrique seul, à faible vitesse et lors des décélérations, soit du moteur thermique seul, en parcours routier et autoroutier, soit des deux simultanément lors d'accélérations franches.

- **Pilotage intelligent du freinage.**

L'une des fonctionnalités de la transmission hybride est la possibilité de pouvoir récupérer l'énergie cinétique du véhicule et de la réutiliser ultérieurement. Lorsque le conducteur lève le pied de la pédale d'accélérateur à une vitesse inférieure à 60 km/h, le moteur thermique est mis en veille et désaccouplé. Le moteur électrique assure alors le frein moteur et récupère l'énergie cinétique du véhicule. Le PTMU permet le stockage de cette énergie dans les batteries, jusqu'à leur état de charge complet.

Lorsque le conducteur freine, le PTMU gère la répartition du freinage, en freinage électrique (récupératif) et hydraulique (dissipatif), en assurant prioritairement les fonctions de sécurité et en optimisant la récupération d'énergie au profit de la baisse des consommations.

- **Interface Homme Machine (IHM) ou écran de contrôle.**

Le conducteur est tenu informé, en temps réel, du fonctionnement de la chaîne de traction hybride par un écran couleur multifonction. Cet écran est directement issu de la plate-forme télématique du groupe. Il illustre, de manière immédiatement compréhensible les transferts d'énergie entre les deux moteurs, thermique et électrique, le pack batterie et les roues. D'autres informations sont également disponibles, telles que l'état de charge des batteries, ou encore, le niveau de puissance que le conducteur sollicite des différents moteurs.

Cet outil favorise une conduite minimisant la consommation d'énergie par une meilleure compréhension du fonctionnement du véhicule.

FONCTIONNALITÉS PARTICULIÈRES

- **Mode électrique pur : le choix d'une conduite ZEV (Zero Emission Vehicle).**

L'action du conducteur sur un bouton spécifique donne accès à un mode tout électrique "étendu". La plage d'utilisation du véhicule disponible en mode électrique seul est alors optimisée. Cette optimisation permet de parcourir des distances plus importantes et d'atteindre des vitesses plus élevées que celles atteintes sans déclenchement du moteur thermique en mode hybride normal. Le réveil du moteur thermique est, dans ce cas, réservé à des phases d'accélérations plus soutenues. Cette fonctionnalité offerte au conducteur et dérivée du véhicule électrique supprime toute émission polluante ou sonore à l'extérieur du véhicule, tout en procurant, au conducteur comme à ses passagers, un gain en confort acoustique remarquable. L'agrément s'en trouve renforcé.

Ce mode se désactive, soit automatiquement, lorsque les batteries haute tension ne sont plus suffisamment chargées, soit manuellement en appuyant sur le bouton spécifique.

- **Mode séquentiel et mode dynamique.**

Le conducteur peut choisir le mode séquentiel via le levier de commande de la boîte de vitesses et décide du rapport engagé et du moment où il souhaite le faire, afin d'anticiper des situations que lui seul connaît (par exemple : rétrograder pour doubler sur une très courte distance).

Dans ce cas, les changements de rapports sont optimisés en durée, et le moteur thermique est toujours en fonctionnement.

La fonction "boost", adjonction du couple du moteur électrique à celui du moteur thermique, est toujours disponible.

Le conducteur peut privilégier le dynamisme du véhicule en sélectionnant la touche dédiée. L'information de la pédale d'accélérateur est alors transcrite de façon à privilégier une présence immédiate de couple. Dans le même temps, les durées de changement de rapports sont réduites au maximum des capacités mécaniques du système. Dans ce cas, le changement des rapports se fait automatiquement, sans action du conducteur.

- **Hybride HDi : un véhicule autonome en toutes circonstances.**

En cas de décharge du pack batterie haute tension, après une immobilisation longue durée par exemple, Hybride HDi est toujours en mesure de démarrer et de rouler, contrairement à d'autres systèmes hybrides où le véhicule reste immobilisé. Le système STT d'Hybride HDi, greffé sur le moteur Diesel, permet le démarrage sur la batterie 12V et la génération de puissance électrique via l'alternateur. Le véhicule continue alors d'être autonome dans un mode 100 % thermique dit "limité". En moins de 10 minutes de roulage, temps requis pour initialiser la recharge du pack batterie haute tension, les prestations complètes sont recouvrées.

De même, lorsqu'une anomalie importante (par exemple, sécurité électrique) impose de déconnecter les batteries haute tension, Hybride HDi peut continuer à rouler avec le moteur thermique seul. Ce mode de fonctionnement dit de "secours" offre la possibilité au conducteur de rejoindre en toute sécurité un point de réparation.

CHOIX ET INTÉRÊT DE LA PLATE-FORME 2

Le développement d'Hybride HDi sur la Peugeot 307 et la Citroën C4 s'inscrit dans la stratégie générale de plates-formes du groupe.

D'une part, PSA PEUGEOT CITROËN souhaitait développer la technologie sur des véhicules existants du segment de marché le plus populaire en Europe, le segment M1, qui représente près d'un tiers des ventes totales d'automobiles en 2005.

D'autre part, ces véhicules ont un profil d'utilisation combinant usages urbain, routier et autoroutier. Dans ce contexte, le choix du moteur HDi s'est imposé tout naturellement grâce à son rendement incomparable par rapport à des moteurs thermiques essence.

- **Une démonstration innovante d'hybrides Diesel.**

En présentant Hybride HDi sur des véhicules roulants de sa plate-forme 2, Peugeot 307 et Citroën C4, PSA PEUGEOT CITROËN démontre sa maîtrise technique effective sur les chaînes de traction hybride Diesel. Le groupe illustre ainsi la capacité des motorisations HDi à parvenir à de très faibles consommations.

III. LA RECHERCHE D'UN MODÈLE ÉCONOMIQUE VIABLE

Ainsi que le démontrent les performances exceptionnelles de 307 et C4 Hybride HDi, le Diesel moderne et, a fortiori, l'hybride Diesel, sont des réponses appropriées pour diminuer significativement les consommations et les émissions de CO_2.

HYBRIDE HDi : UNE PROMESSE FORTE NÉCESSITANT DES RUPTURES TECHNOLOGIQUES

Les travaux économiques menés jusqu'à présent sur la technologie hybride conduisent immanquablement à deux constats.

- **Cette technologie restera par nature plus onéreuse que n'importe quelle autre solution thermique actuelle.**

Une série de composants (batteries haute tension, moteur électrique, onduleur, électronique de puissance et de contrôle, système Stop & Start, freinage récupératif) s'additionne au prix de la chaîne de traction classique. Le coût de la technologie hybride se situe donc à un niveau très supérieur à celui d'une solution thermique traditionnelle.

- **L'effet volume représente un levier nécessaire, mais encore insuffisant, pour abaisser le surcoût de la technologie à un prix acceptable.**

Le coût de la technologie actuelle limite les volumes de commercialisation. Mais, même en cas d'accroissement important de ces volumes, et donc de diminution des coûts, ceux-ci resteraient, en l'état actuel de la technologie, incompatibles avec un prix de marché réaliste. Des évolutions technologiques importantes sont donc indispensables pour diviser le surcoût de cette technologie d'un facteur deux à trois. Celles-ci doivent porter, en premier lieu, sur les quatre composants majeurs qui représentent l'essentiel du surcoût : le moteur électrique, le pack batterie haute tension, l'onduleur et le système de freinage récupératif.

UNE FILIÈRE TECHNOLOGIQUE HYBRIDE À METTRE EN PLACE

Pour relever ce défi technico-économique, il faut promouvoir le travail en réseau d'entreprises avec une filière d'expertise en R&D et une filière industrielle, qui restent encore à construire. S'agissant d'une technologie hybride Diesel, le champ d'investigation est, bien entendu, prioritairement français et européen.

Parmi les thèmes recevables par l'Agence pour l'Innovation Industrielle (AII : agence créée par le gouvernement français) figure un programme de développement de véhicules propres dotés de technologies en rupture. Ces véhicules de type familial, à un coût compatible avec le marché, visent une consommation de 3,5 l aux 100 km.

PSA PEUGEOT CITROËN propose de piloter un projet fédérant les compétences d'équipementiers et de laboratoires français et européens, sur la base de sa technologie Hybride HDi.

À LA RECHERCHE D'UN MODÈLE ÉCONOMIQUE POUR UNE MISE SUR LE MARCHÉ AU DÉBUT DE LA PROCHAINE DÉCENNIE

Sans un modèle économique viable permettant de limiter le différentiel de coût à un niveau acceptable par le client, l'hybride restera une technologie élitiste, peu diffusée, donc globalement inefficace en terme environnemental, et loin de la mission d'un constructeur généraliste qui souhaite mettre à disposition du plus grand nombre "une technologie utile pour tous".

PSA PEUGEOT CITROËN estime que, compte tenu des gains en consommation prévus et des prestations nouvelles apportées par l'hybride, le niveau de surcoût acceptable pour l'hybride Diesel se situe dans des zones voisines de celles constatées aujourd'hui entre les motorisations essence et Diesel HDi.

La question du véhicule hybride n'est donc pas tant, pour PSA PEUGEOT CITROËN, une question de savoir-faire technologique ou industriel, qu'une question de prix de vente qui doit être compatible avec le pouvoir d'achat des automobilistes.

C'est à présent sur la recherche de prix acceptables par les clients que vont porter les efforts de PSA PEUGEOT CITROËN, parallèlement au développement continu de son expertise technologique. Dans cette perspective, l'ambition du groupe est de mettre sur le marché les premiers véhicules hybrides HDi au début de la prochaine décennie.

CONCLUSION

Se fondant sur ses convictions technologiques et ses choix stratégiques, PSA PEUGEOT CITROËN présente une solution hybride Diesel intégrée à sa politique de plates-formes et disposant d'un réel potentiel.

Au-delà des excellents résultats obtenus en termes de consommation (3,4 l aux 100 km) et d'émissions de CO_2 (90 g/km), C4 et 307 Hybride HDi conservent tout l'agrément de conduite habituellement reconnu aux motorisations HDi, en y ajoutant des avantages spécifiques à la chaîne de traction hybride (mode tout électrique à faible vitesse par exemple).

Ces résultats encourageants confortent le groupe dans ses choix technologiques et stratégiques :

- en premier lieu, l'apport du moteur Diesel dans une chaîne de traction hybride pour obtenir une forte baisse des consommations ;
- en second lieu, la mise à disposition de cette technologie, sur des véhicules familiaux correspondant au cœur du marché européen, au bénéfice du plus grand nombre de clients.

L'hybride Diesel intégré dans une plate-forme du groupe apparaît donc comme une solution de choix pour poursuivre, de manière significative, la baisse des consommations et des émissions de CO_2, en enrichissant les gammes actuelles Peugeot et Citroën.

Toutefois, la promesse apportée par la présentation d'Hybride HDi ne se réalisera que si le surcoût de cette technologie peut être réduit ; c'est à ce défi que le groupe va à présent consacrer toute son énergie.

HISTORIQUE DES RECHERCHES DU GROUPE PSA PEUGEOT CITROËN SUR LES HYBRIDES

UNE RECHERCHE TECHNOLOGIQUE ACTIVE MENÉE DEPUIS PLUS DE 10 ANS

Le groupe PSA PEUGEOT CITROËN conduit depuis le début des années quatre-vingt-dix des recherches fondamentales et appliquées sur la technologie des hybrides.

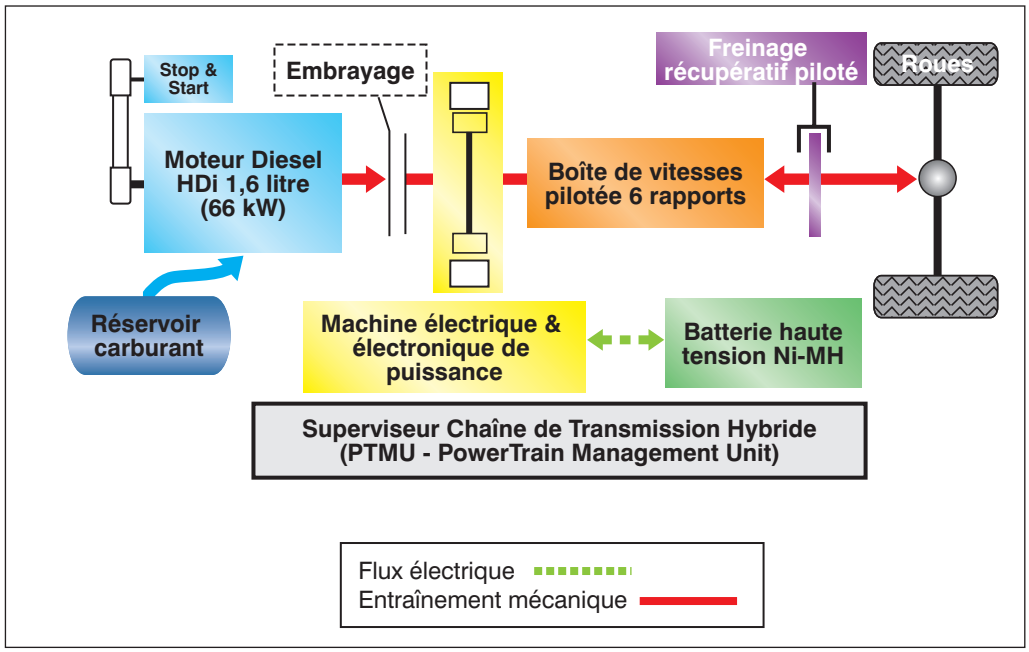
Celles-ci se sont orientées à l'origine vers une variante du véhicule électrique et de l'hybride série avec **Berlingo Dynavolt**. Le principe était d'ajouter à l'énergie électrique fournie par le réseau, et stockée dans les batteries, une énergie électrique produite par un groupe électrogène auxiliaire. Grâce à une gestion intelligente des sources d'énergies, le moteur électrique pouvait être alimenté, en partie, par ce groupe hors des zones urbaines.

Avec **Xsara Dynalto**, le groupe proposait une solution industrialisable permettant un gain en consommation de l'ordre de 10 % (sur cycle mixte normalisé) et donc une baisse en proportion des émissions de CO_2. Ces gains étaient permis, en particulier, par la fonction Stop and Go qui autorise la coupure et le redémarrage automatique du moteur dans les embouteillages, au feu rouge ou lors d'un stationnement prolongé. Cette fonction annule la gêne liée aux nuisances sonores, particulièrement en milieu urbain.

Cette innovation s'est concrétisée par la mise sur le marché d'abord de C3 puis de C2 Stop & Start, premier niveau d'hybridation accessible au plus grand nombre. Les gains de consommation offerts par le système Stop & Start sont de 10 % en usage urbain, 6 % en cycle normalisé et peuvent atteindre 15 % lorsque la circulation est dense.

Xsara Dynactive, présentée en février 2000, explorait une nouvelle voie de l'hybridation parallèle. Conçue autour d'un moteur thermique essence de 55 kW (75 ch) et d'un moteur électrique de 25 kW (34 ch), elle disposait d'une boîte de vitesses automatique. L'originalité de cette architecture offrait à Xsara Dynactive un mode ZEV particulièrement performant en circulation urbaine (autonomie voisine de 20 km) car bénéficiant des démultiplications de la boîte de vitesses automatique.

ARCHITECTURE HYBRIDE PARALLELE DE LA CITROËN C4 ET DE LA PEUGEOT 307 HYBRIDE HDi



FICHE TECHNIQUE DETAILLÉE D'HYBRIDE HDi

VÉHICULE	
Plate-forme 2	Citroën C4 et Peugeot 307 Hybride HDi
Masse totale à vide	1 390 kg
Dont - masse de "l'Hybridation" seule	110 kg
Capacité réservoir	60 litres
Freins	Système hydraulique conventionnel et freinage récupératif par moteur électrique. Pilotage électronique des 2 systèmes de façon combinée, pour optimiser la récupération d'énergie.

MOTEUR THERMIQUE
Type : Diesel 1,6 litre turbo
4 cylindres en ligne en position transversale AV
66 kW à 4 000 tr/min - 215 Nm à 1 750 tr/min
Démarrage par Alterno-démarreur réversible (système Stop & Start)

MOTEUR ÉLECTRIQUE
Type : Synchrone à aimants permanents
16 kW (22 Ch) en continu, couple de 80 Nm
23 kW (32 Ch) en puissance de crête, couple maxi de 130 Nm

ONDULEUR
Gamme de tension de fonctionnement : 210 à 380 Volts ; refroidissement liquide

BATTERIE HAUTE TENSION	
Type	Nickel-métal hydrure.
Tension nominale	288 Volts.
Capacité	6,5 Ah.
Autonomie du véhicule en mode électrique	5 km

CONVERTISSEUR	
Conversion de la haute tension au 12 Volts, pour assurer l'alimentation du réseau de bord en mode électrique.	
Modulaire	3 tranches de 500 W, pilotables séparément

TRANSMISSION	
Type	boîte de vitesses manuelle pilotée
Nombre de rapports	6

PTMU (POWERTRAIN MANAGEMENT UNIT)
Superviseur de la chaîne de transmission hybride. Arbitre entre les différents modes de fonctionnement (électrique, thermique, ou encore les deux) de façon à optimiser la consommation.

PERFORMANCES ET CONSOMMATIONS D'HYBRIDE HDi

VÉHICULE	C4 / 307 RÉFÉRENCE	HYBRIDE HDi
Type moteur thermique	Diesel 1,6 litre (80 kW)	Diesel 1,6 litre (66 kW)
Type de boîte de vitesses	Manuelle 5 rapports	Pilotée 6 rapports
Vitesse maximale (km/h)	192	181
0 à 100 km/h (s)	12,4	12,4
0 à 400 m (s)	18,5	18,4
0 à 1 000 m (s)	33,7	33,9
30-60 km/h (s)	5,8	3,5
80-120 km/h (s)	13,0	10,6
Cycle MVEG Normes CEE 1999-100		
Consommations (l/100 km)	4,7	**3,4**
Emissions de CO_2 (g/km)	125	**90**
Ecart référence HDi en %	**Ref**	**-28 %**
Cycle urbain		
Consommations (l/100 km)	5,4	**3,0**
Emissions de CO_2 (g/km)	145	**80**
Ecart référence HDi en %	**Ref**	**-45 %**