

ECOLE DES MINES D'ALBI
C A R M A U X

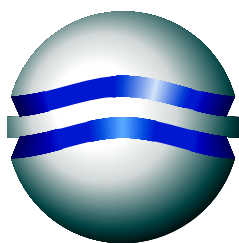
LES BOÎTES DE VITESSES AUTOMATIQUES
S'ADAPTENT AUX MOTEURS DE MOINDRE
PUISSANCE : PILOTAGE ÉLECTRONIQUE ET
LOGIQUE FLOUE

Recherche documentaire — première année

Étude de brevets

Thomas VAN OUDENHOVE
IFI 2003

- Juin 2000 -



ECOLE DES MINES D'ALBI
C A R M A U X

LES BOÎTES DE VITESSES AUTOMATIQUES
S'ADAPTENT AUX MOTEURS DE MOINDRE
PUISSANCE : PILOTAGE ÉLECTRONIQUE ET
LOGIQUE FLOUE

Recherche documentaire — première année

Étude de brevets

Thomas VAN OUDENHOVE
IFI 2003

- Juin 2000 -

Remerciements

Je remercie tout d'abord le service clientèle de CITROËN pour la documentation qu'ils m'ont fournie sur les boîtes de vitesses automatiques.

J'aimerais remercier M. Pierre GILBERT - ANTOINE, du garage PEUGEOT d'Albi, pour l'aide qu'il m'a apportée dans ma quête d'informations.

Je voudrais aussi adresser mes remerciements au personnel de la CIR d'Albi, pour les informations qu'ils m'ont procurées sur les coupleurs hydrauliques.

Je souhaite aussi remercier M. Dorian GARCIA, pour ses explications éclairées sur la théorie des ensembles flous.

Enfin, je remercie M. Paul GABORIT, pour l'aide qu'il m'a apportée pour résoudre quelques problèmes informatiques.

Résumé

Une boîte de vitesses automatique est un système qui assume automatiquement les fonctions d'embrayage et de changement de rapport pour un véhicule automobile. Celles-ci sont composées de trois éléments mécaniques qui garantissent la transmission du couple du moteur aux roues : le convertisseur de couple, le bloc hydraulique et la boîte de vitesses. Cependant, leur utilisation pose un problème : comment un tel système peut-il prendre en compte la volonté et les envies du conducteur ?

La logique floue permet d'effectuer des calculs sur des variables qui peuvent être incertaines car leur degré d'importance est alors relativisé. Son introduction dans les calculateurs de boîtes de vitesses automatiques permet à ces calculateurs d'avoir un pouvoir de décision qui se rapproche de l'esprit humain. Ainsi, les rapports sont passés quasiment au moment où un homme les changerait, ce qui permet une économie d'essence et une réduction de la puissance nécessaire.

Enfin, ces brevets connaissent déjà des applications industrielles : la gamme CITROËN en est un exemple. Les consommations sont maîtrisées (proches de celles d'un véhicule à boîte mécanique) et les voitures ne sont pas nécessairement très puissantes. On peut donc en conclure que ces brevets ont permis une meilleure accessibilité des transmissions automatiques au public.

Table des matières

Résumé	4
Introduction	7
1 Le fonctionnement général d'une boîte de vitesses automatique (BVA)	8
1.1 Qu'est-ce qu'une boîte de vitesses automatique?	8
1.2 Les BVA, une invention qui a eu besoin des progrès techniques de tout un siècle pour devenir compétitive	9
1.3 Les éléments mécaniques d'une BVA	10
1.3.1 Le convertisseur de couple	10
1.3.2 Le bloc hydraulique	11
1.3.3 La boîte de vitesses, composée de trains épicycloïdaux .	12
1.4 La résolution du problème de style de conduite du conducteur	13
2 Les améliorations qui permettent la réduction de la perte de puissance	14
2.1 L'introduction de la logique floue dans les calculateurs de BVA	14
2.1.1 Qu'est-ce que la logique floue?	14
2.1.2 Utiliser la logique floue dans les BVA : deux réalisations possibles	15
2.2 Le pilotage électronique à travers le calculateur	18

3 Un exemple de mise en application industrielle : la gamme de BVA proposée par CITROËN	22
3.1 Quelques données économiques sur les BVA	22
3.2 La boîte MB3 : pilotage électronique et souple	23
3.3 La boîte 4HP20 auto-adaptative : des performances dépendant sûrement de la motorisation	24
3.4 La boîte Auto-Active : la logique floue pour des performances proches des boîtes mécaniques	25
Conclusion	27
Bibliographie	28
Table des figures	29
Annexes	30

Introduction

Les boîtes de vitesses automatiques sont un moyen pour le conducteur de s'affranchir des contraintes de changements de vitesses. Elles sont développées par les constructeurs automobiles et prennent une part de plus en plus importante du marché de l'automobile.

Dans un premier chapitre, je vais présenter les boîtes de vitesses automatiques et leurs principaux éléments mécaniques. Cependant, cette invention a dû attendre près d'un siècle avant que les avancées techniques ne lui permettent d'être compétitive. Cependant, quelques problèmes se posent encore : comment un système mécanique peut-il prendre en compte la volonté du conducteur, et ainsi éviter la puissance que demandait auparavant ces boîtes ?

Il existe plusieurs éléments de réponse : la logique floue puis le pilotage électronique. Ces technologies ont permis aux boîtes de vitesses automatiques d'avoir un comportement de plus en plus proche de l'esprit humain. Enfin, les brevets présentant ces avancées ont déjà des applications industrielles : la gamme automatique de CITROËN en est un bon exemple.

Chapitre 1

Le fonctionnement général d'une boîte de vitesses automatique (BVA)

Les boîtes de vitesses automatiques permettent au conducteur de s'affranchir des contraintes de changements de vitesse. Cependant, leur gestion pose un problème : comment prendre en compte la volonté du conducteur ?

1.1 Qu'est-ce qu'une boîte de vitesses automatique ?

Une boîte de vitesses automatique¹ est un système qui assume automatiquement les fonctions de l'embrayage et de la boîte de vitesses. L'accouplement entre le moteur et la boîte de vitesses est plus progressif et plus doux et le couple transmis aux roues au niveau de la boîte est plus important. En revanche, l'augmentation du couple entraîne une diminution de la puissance.

Dans une transmission mécanique, c'est le conducteur qui choisit le rapport en évitant de dépasser les régimes dangereux pour le moteur. Une BVA doit donc être pourvue d'un système susceptible de sélectionner le meilleur rapport en fonction de la vitesse du véhicule et du régime du moteur.

Pour la plupart des transmissions automatiques, cette fonction est assurée par un calculateur. Un signal provenant des roues indique la vitesse du véhicule et le système effectue une première sélection entre les rapports (rapports supérieurs si la vitesse est élevée, inférieurs si la vitesse est faible). Ensuite,

1. BVA dans la suite du rapport

un signal provenant du moteur indique le régime et le calculateur peut donc choisir le rapport qui permettra au moteur de tourner à un nombre de tours ni trop bas ni trop haut (généralement entre 2000 et 5000 tours par minute).

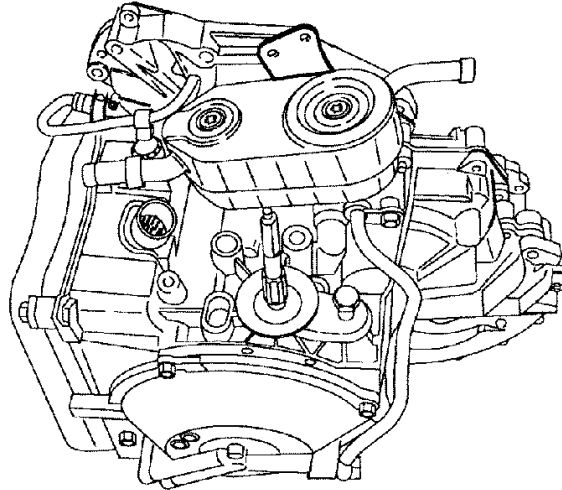


FIG. 1.1 – *Schéma général d'une BVA*
source : document PSA

1.2 Les BVA, une invention qui a eu besoin des progrès techniques de tout un siècle pour devenir compétitive

La première BVA a été réalisée par la société américaine STURTEVANT – MIEL en 1907. Les pignons étaient toujours en prise et chaque rapport disposait de son propre embrayage. Un dispositif centrifuge commandait le passage des différentes vitesses.

En 1908, Hermann FÖTTINGER inventa le coupleur hydraulique, qui allait révolutionner les BVA. En 1939, la première boîte automatique munie d'un convertisseur de couple hydraulique fut mise au point par GENERAL MOTORS.

Enfin, à la fin du vingtième siècle, la maîtrise de technologies telles que l'électronique a permis aux concepteurs de BVA d'améliorer fortement leur comportement. Depuis 1991, avec l'apparition de la logique floue dans les transmissions automatiques, le pouvoir de décision des calculateurs se rapproche toujours plus de l'esprit humain.

1.3 Les éléments mécaniques d'une BVA

1.3.1 Le convertisseur de couple

Cet élément peut être considéré comme un embrayage hydraulique dont l'enclenchement se produit de manière automatique, dès qu'un certain nombre de tours a été dépassé.

Un coupleur hydraulique comprend deux éléments essentiels : la motrice jouant le rôle de pompe et la réceptrice qui fait office de turbine. Ces deux éléments ont la forme d'un demi-tore et sont munis d'ailettes planes disposées radialement. La motrice et la réceptrice sont montées dans un carter qui est rempli d'huile.

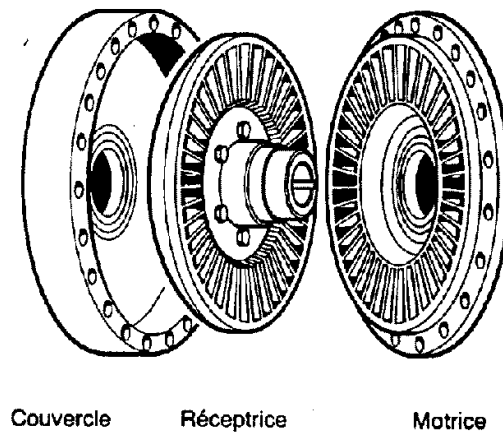


FIG. 1.2 – *Vue éclatée de la motrice, de la réceptrice et du couvercle*
source: document SIME INDUSTRIE

L'huile est l'agent qui transfère la puissance ; en effet, il n'y a aucune liaison mécanique entre les deux éléments. Le coupleur transmet une puissance proportionnelle au cube de la vitesse et un couple proportionnel au carré de la vitesse. Ces deux grandeurs dépendent aussi du volume d'huile dans le carter.

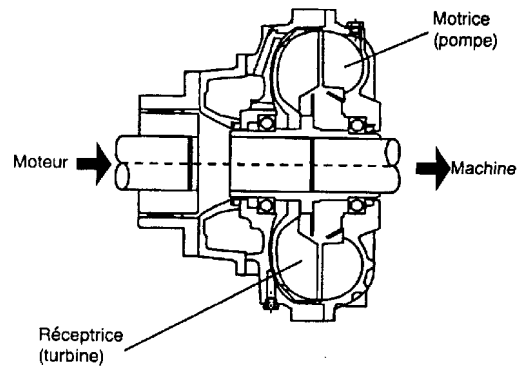


FIG. 1.3 – Schéma en coupe d'un coupleur traction
source : document SIME INDUSTRIE

Au démarrage, la valeur du couple transmis croît progressivement avec l'accélération de la motrice et l'huile n'entraîne pas immédiatement la réceptrice. Tant que le couple transmis n'a pas atteint la valeur du couple résistant de la machine à entraîner, le glissement est de cent pour cent (100 %). Très rapidement (en quelques secondes au plus), le couple transmis dépasse le couple résistant et la vitesse de la réceptrice croît. Le démarrage de la machine s'effectue donc progressivement jusqu'au régime permanent. Une fois ce régime atteint, le glissement est inférieur à cinq pour cent (5 %).

En pratique, pour une BVA, le régime permanent est assez rare. En effet, le conducteur impose le plus souvent une accélération ou une décélération à son véhicule.

1.3.2 Le bloc hydraulique

Le bloc hydraulique sert de distributeur. Il est alimenté par une pompe à huile et délivre aux différents organes de la boîte une pression d'huile appelée pression de ligne. Ainsi, il contrôle la commande du convertisseur de couple mais aussi l'alimentation du circuit de graissage, les pistons des bandes de freinage, ...

Lors du fonctionnement, les informations provenant des capteurs de vitesse en entrée et en sortie de la BVA sont comparées et le résultat détermine l'injection d'huile sous pression dans l'une ou l'autre des parties de la BVA. Lorsque le bloc envoie de l'huile sous pression dans la boîte ou dans le convertisseur, l'huile passe à travers les électrovannes, commandées avec précision grâce à un calculateur. Les régulateurs servent à évacuer de l'huile si la pression devient trop importante dans le bloc hydraulique. Enfin, la sonde de

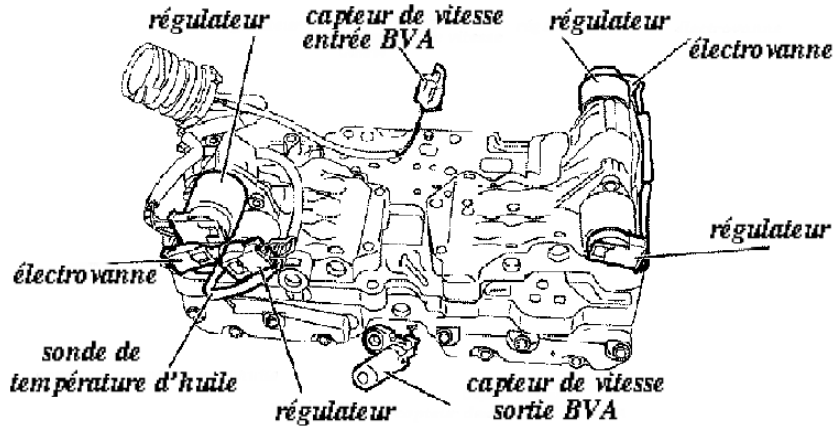


FIG. 1.4 – Schéma d'un bloc hydraulique
source : document PSA

température d'huile a un fonctionnement similaire à celle d'un moteur : elle commande l'allumage d'un voyant sur le tableau de bord si la température de l'huile devient trop élevée.

1.3.3 La boîte de vitesses, composée de trains épicycloïdaux

Sur une boîte mécanique, le moteur est complètement désolidarisé de l'arbre menant aux roues lors du changement de rapport. Sur une BVA le passage des vitesses sans heurts est beaucoup trop difficile et compliqué à mettre en œuvre. Ainsi, les concepteurs ont préféré utiliser un système de trains épicycloïdaux.

Un train épicycloïdal se compose de trois éléments : la couronne, le satellite et le planétaire. Dans une BVA, ils sont toujours en prise mais peuvent être bloqués pour éviter une perte de puissance.

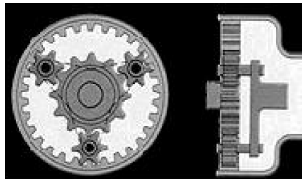


FIG. 1.5 – Schéma d'un train épicycloïdal
source : <http://wacs.free.fr/automatique>

Pour bloquer certains trains, on utilise en général des bandes de freinage. Sur la photo 1.6, on peut voir les bandes de freinage et leur piston correspondant, actionné par le bloc hydraulique, qui provoque le blocage. Chaque train (donc chaque rapport de vitesse) dispose de sa propre bande de freinage.



FIG. 1.6 – *Photo de bandes de freinage*
source : <http://wacs.free.fr/automatique>

1.4 La résolution du problème de style de conduite du conducteur

La première solution à ce problème a été d'adapter les BVA sur des voitures disposant d'une grosse motorisation. De cette façon, le conducteur pouvait régler son style de conduite grâce à la pédale d'accélérateur. Malheureusement, cette solution coûte cher, et les personnes voulant disposer d'une BVA ne pouvaient pas toujours s'offrir la voiture qui allait avec.

Une deuxième solution consiste à placer un levier de commande pour le style de conduite. Généralement, trois modes sont proposés : le mode normal, un mode sport et un mode neige (ou route glissante). Cette solution n'était toujours pas satisfaisante. En effet, le mode sport nécessitait encore un moteur puissant, donc adapter cette boîte sur une voiture moins puissante posait encore le problème du style de conduite du conducteur.

La troisième solution est présentée dans le deuxième chapitre, à savoir : l'introduction du pilotage électronique à travers des calculateurs et adapter ces calculateurs pour leur permettre de fonctionner en logique floue.

Chapitre 2

Les améliorations qui permettent la réduction de la perte de puissance

En effet, la perte de puissance était un problème majeur dans les BVA. Les améliorations présentées dans ce chapitre permettent de réduire cette perte. Les voitures moins puissantes pourront donc être équipées de transmissions automatiques sans nuire au plaisir de conduite.

2.1 L'introduction de la logique floue dans les calculateurs de BVA

2.1.1 Qu'est-ce que la logique floue?

Le raisonnement en logique floue trouve son origine dans la théorie des ensembles flous de L.A. ZADEH. C'est un raisonnement qui, au contraire de la logique booléenne, permet de manipuler des notions imprécises que les hommes peuvent facilement utiliser avec le langage. Par exemple, les notions de jeunesse ou de taille ne peuvent pas être quantifiées de la même façon que le passage du courant dans un fil électrique.

En effet, selon la théorie classique des ensembles, toute personne entre 15 et 45 ans est 'jeune'; il n'y a aucune différence entre un adolescent de 16 ans et un adulte de 40 ans. En réalité, un 'jeune' de 16 ans est plus jeune qu'un 'jeune' de 40 ans. La théorie des ensembles flous introduit donc un concept de degré afin de différencier les différents types de 'jeunes'. On peut par exemple stipuler qu'un adolescent de 15 ans aura un degré de jeunesse de

1 alors qu'un adulte de 35 ans se verrait attribuer un coefficient de jeunesse de 0,5 et un homme de 45 ans serait affecté d'un poids plus faible de 0,1.

2.1.2 Utiliser la logique floue dans les BVA : deux réalisations possibles

L'adaptation prévue par le brevet FR 96 05870

Ce brevet¹ présente un dispositif de pilotage d'une BVA avec un calculateur fonctionnant en logique floue. Ce calculateur détermine une commande de pilotage par comparaison de données à des seuils ou à des courbes de passage de rapports.

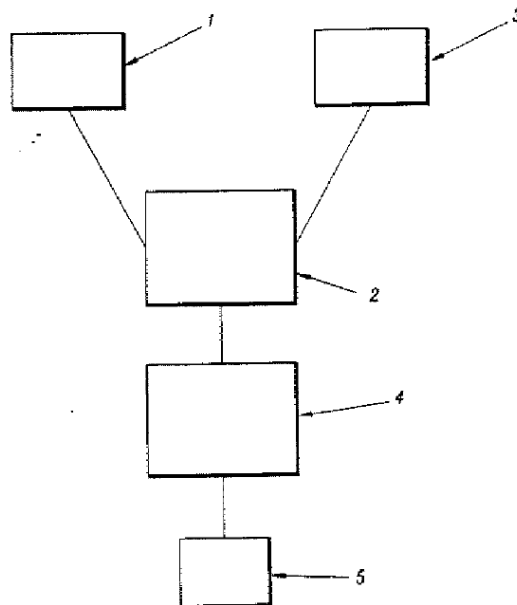


FIG. 2.1 – Schéma du fonctionnement de la BVA pourvue d'un calculateur en logique floue

source : Brevet FR 96 05870

Sur le schéma 2.1, **1** représente le faisceau électrique qui transmet les informations en provenance de capteurs. Ces informations sont transmises à la carte de dérivation et d'adaptation **2**. Cette carte est raccordée à un calculateur classique **3** et au calculateur en logique floue **4**. Le calculateur **3**

1. cf. annexes : première page du brevet

permet de piloter de façon classique les passages de rapport de la boîte en gérant par exemple les électrovannes de celle-ci.

Le calculateur **4** reçoit les informations relatives au comportement dynamique du véhicule de la carte **2**. Une fois ces paramètres relevés, le calculateur **4** leur applique une opération de fuzzification. L'opération de fuzzification sert à obtenir des degrés d'appartenance des paramètres à des ensembles flous d'influence. Après cette opération, les degrés d'appartenance sont traités de façon classique grâce aux règles de la logique floue pour déterminer des ordres de passage de rapport pour un ou plusieurs paramètres associés. Cette étape de traitement est suivie d'une étape de combinaison des différents ordres de passage relatifs à chaque paramètre (ou ensemble de paramètres). Enfin, le résultat des combinaisons issues de l'étape précédente est analysé pour en tirer une commande de pilotage de la BVA par le calculateur **3**. L'ordre de passage de rapport transite par la carte **2**; l'ordre transmis est (+1) pour passer le rapport supérieur, (0) pour garder le rapport engagé et (-1) pour rétrograder.

En dernier lieu, une fois le nouveau rapport engagé (ou l'ancien gardé), le calculateur **4** envoie un signal aux moyens de visualisation **5**, ce qui permet au conducteur de savoir en permanence quel rapport est engagé.

Les informations envoyées par les capteurs sont au minimum : le régime du moteur, la charge du moteur et le rapport engagé. On peut évidemment en ajouter d'autres, comme par exemple la vitesse du véhicule, la pente de la route, le roulis du véhicule (dû à la force centrifuge dans un virage), ...

Cependant, la réalisation de ce brevet comporte certains inconvénients. En effet, les capteurs ont un coût élevé, leur mise en place n'est pas des plus faciles et certains sont peu fiables. C'est pourquoi une autre réalisation a été mise en place.

Un exemple d'adaptation simple avec la pédale d'accélérateur

Cette réalisation consiste à analyser le comportement du conducteur grâce à la pédale d'accélérateur. Il existe quelques règles que le calculateur en logique floue peut ensuite interpréter pour en tirer des ordres de passage de rapports :

- si la pédale remonte et descend souvent sur une période donnée avec une amplitude moyenne, le calculateur en déduit que la route est rapide et sinueuse;
- peu de mouvements de la pédale (avec une petite amplitude) traduisent une route relativement droite (et rapide);
- beaucoup de mouvements de pédale avec une grande amplitude indiquent une route très sinueuse.

La figure 2.2 montre le comportement du calculateur sur une route sinueuse et rapide en fonction de la variance de la pédale d'accélérateur (pour une BVA à cinq rapports). Lorsque le conducteur aborde un virage, il lève le pied et le calculateur l'interprète comme une demande de 'moins d'accélération' et passe alors le rapport supérieur. Quand la voiture commence à sortir du virage, le conducteur appuie alors sur l'accélérateur et le calculateur ordonne à la boîte de rétrograder pour que le conducteur dispose d'une meilleure accélération.

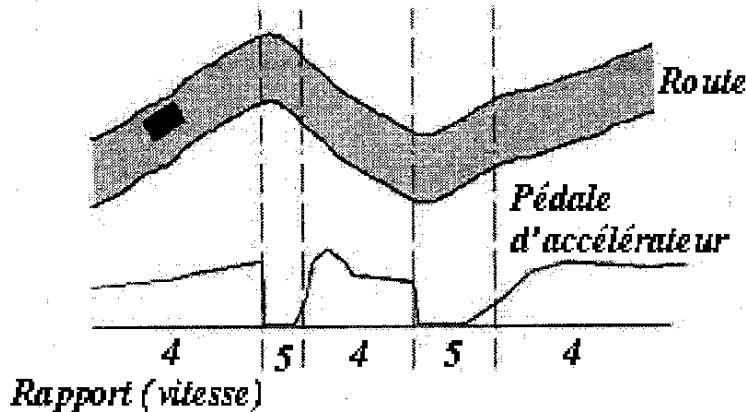


FIG. 2.2 – Graphique du rapport en fonction de la pédale d'accélérateur sur une route sinueuse

source : <http://www.fuzzytech.com/>

Ce système pourrait être mis en œuvre sans l'utilisation d'un calculateur en logique floue mais ce dernier permet d'avoir une force de décision beaucoup plus proche de l'esprit humain qu'un calculateur classique. En effet, le calculateur attribue les degrés d'appartenance aux ensembles flous des paramètres captés et permet ensuite une analyse beaucoup plus fine de ces degrés pour en déduire le passage d'un rapport.

Ce système doit cependant comporter quelques capteurs, mais le nombre en est réduit et ceux-ci comptent parmi les plus fiables : il faut un capteur pour la vitesse du véhicule et un autre pour le régime du moteur, en plus du capteur pour la variance de la pédale d'accélérateur (le capteur de charge du moteur n'est pas nécessaire pour cette application).

Les avantages de la logique floue

On peut résumer le fonctionnement d'une BVA par le schéma 2.3. Des capteurs fournissent des informations sur l'environnement de la voiture, la

volonté du conducteur et l'état du véhicule. À chaque croisement de la courbe de vitesse du véhicule avec les courbes prédéfinies, tous les paramètres sont analysés en logique floue, et le calculateur en tire un ordre de passage ou de blocage du rapport.

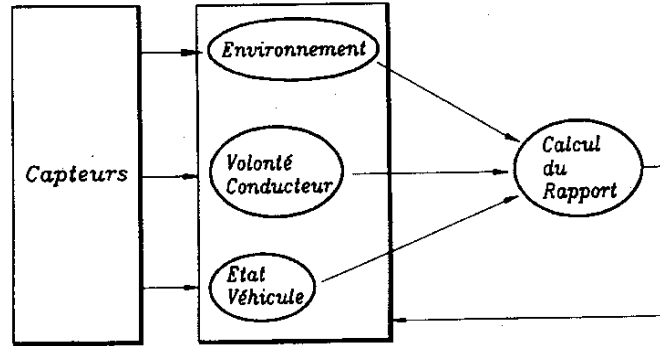


FIG. 2.3 – Schéma de fonctionnement d'une BVA en logique floue
source : brevet FR 96 05870

Le principal avantage de l'introduction de la logique floue dans les transmissions automatiques est l'économie d'essence. Or, d'autres atouts découlent de cet avantage. En effet, si le moteur consomme moins d'essence, il n'a donc pas besoin de fournir toute sa puissance, ce qui permet d'adapter ce moteur sur des voitures moins puissantes.

2.2 Le pilotage électronique à travers le calculateur

Des solutions de pilotage électronique existaient déjà auparavant. Dans ces solutions, les changements de rapports sont décidés en fonction de la vitesse du véhicule et de la charge du moteur. Un brevet de 1983² avait déjà proposé une amélioration à ces solutions. Elle consistait à associer aux courbes de passage de rapports deux autres courbes : une courbe d'accélération négative et une courbe d'ouverture croissante. Cependant, cette invention avait plusieurs inconvénients : elle n'était efficace que lorsque le véhicule était sur le plat, sa mise en œuvre était difficile et cette solution ne pouvait pas être adaptée au style de conduite du conducteur.

2. brevet français numéro FR 83 07277

RENAULT, PEUGEOT et CITROËN ont donc développé ensemble un calculateur pour BVA fonctionnant en logique floue. Il permet une économie d'essence en se plaçant toujours dans le rapport le plus élevé lorsque une demande de forte accélération n'est pas demandée par le conducteur (avec la pédale d'accélérateur).

Le calculateur développé à travers le brevet FR 97 08324

Ce brevet³ propose une solution de blocage du rapport engagé pour que le calculateur ait le temps d'estimer si le rapport suivant doit être passé ou pas. Ce calculateur comporte trois fonctions F_1 , F_2 et F_3 . Ces trois fonctions ont chacune un rôle bien défini :

- F_1 bloque le passage à un rapport supérieur pendant une temporisation d'attente (T_a);
- F_2 bloque le passage à un rapport supérieur lorsque l'angle d'ouverture α_{pap} du papillon d'alimentation en combustible est instable;
- F_3 bloque le passage au rapport supérieur lorsque le véhicule ralentit.

De plus, F_3 est prioritaire par rapport à F_2 , qui est aussi prioritaire par rapport à F_1 .

Le graphique 2.4 page 20 montre les lois de passage de rapports (de N à $N + 1$) pour une accélération constante du point **O** au point **A** puis avec une vitesse constante du point **A** au point **B**. Plus α_{pap} sera grand (pédale d'accélérateur enfoncée), plus le passage au rapport $N + 1$ se fera tard.

De manière plus précise, le processus de blocage de rapport pendant le temps de calcul fonctionne en quatre étapes :

1. Lorsqu'une courbe de passage à un rapport supérieur est croisée, la fonction F_1 est activée;
2. Pendant T_a , le calculateur analyse en logique floue la stabilité du pied (les variations de α_{pap}). Si les variations de α_{pap} sont inférieures à un seuil prédéterminé, le calculateur envoie l'ordre de passer le rapport supérieur (sauf si le véhicule est en phase de décélération, auquel cas F_3 serait alors activée). Si la variance de la pédale est trop grande par rapport au seuil, F_2 est activée et une seconde temporisation $T_{instable}$ est lancée ($T_{instable}$ dépend de la vitesse de changement de α_{pap} et d'un facteur représentant la 'sportivité' du conducteur);
3. pendant $T_{instable}$, l'accélération γ_{veh} est calculée en logique floue par dérivation de la vitesse V_{veh} du véhicule. Si le véhicule est effectivement en phase de décélération, le rapport est bloqué pour permettre

3. cf. annexes : première page du brevet

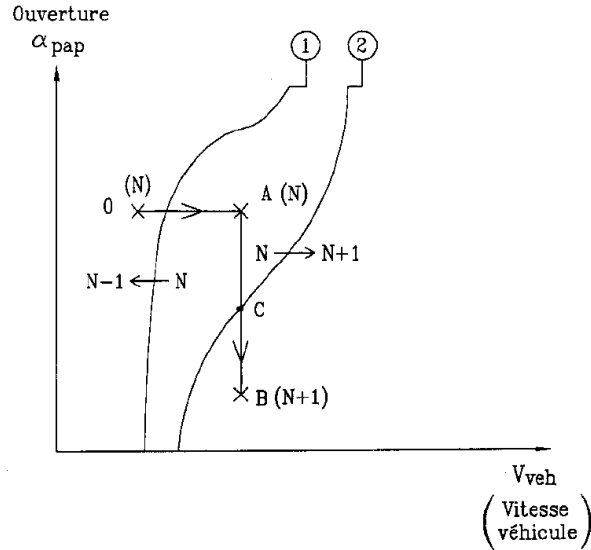


FIG. 2.4 – Graphique du rapport en fonction de l'ouverture du papillon d'admission de combustible α_{pap} et de la vitesse V_{veh}

source : brevet FR 97 08324

au conducteur d'utiliser le frein moteur. En revanche, si le véhicule ne ralentit pas, le rapport supérieur sera engagé à la fin de la temporisation $T_{instable}$;

4. une fois que le véhicule a été observé en état de décélération, le rapport reste bloqué tant que l'accélération du véhicule est négative. Le déblocage du rapport peut alors être décidé par une de ces 'lois' :
 - le véhicule a parcouru une certaine distance (prédéterminée) avec α_{pap} resté stable;
 - le régime de rotation du moteur devient trop élevé;
 - la courbe de rétrogradage est croisée (sur le graphique 2.4 des courbes de rapports en fonction de α_{pap} et V_{veh}).

En particulier, la solution consistant à débloquer le passage du rapport après que le véhicule ait parcouru une certaine distance a l'avantage de ne pas autoriser la boîte à rétrograder trop rapidement. Par exemple, un conducteur qui roule à allure modérée en troisième aborde un virage. À l'entrée du virage, il va lever rapidement le pied et le rapport sera bloqué. Cette invention assure que le rapport restera bloqué pendant une bonne partie du virage, alors qu'une BVA qui n'est pas équipée de ce calculateur demandera le rétrogradage dès que la courbe de changement de N à $N - 1$ sera croisée.

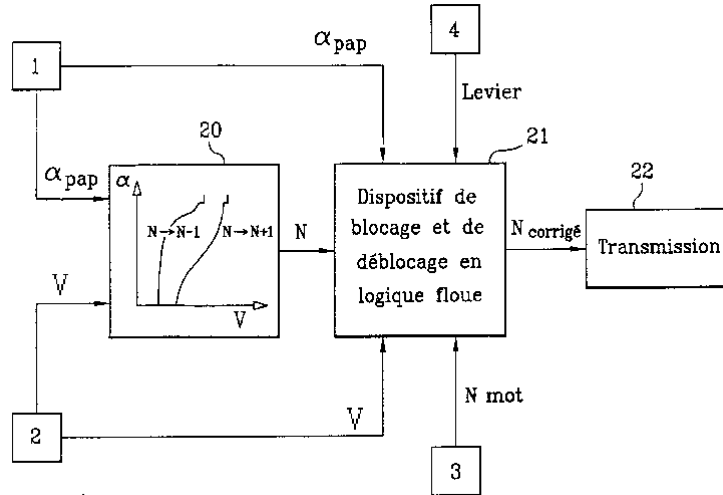


FIG. 2.5 – Schéma du fonctionnement du calculateur décrit dans le brevet FR 97 08234

source : brevet FR 97 08324

Le schéma 2.5 montre le fonctionnement du calculateur. À partir des informations d'angle d'ouverture α_{pap} issue du capteur **1** associé au moteur et de la vitesse du véhicule V , le bloc fonctionnel **20** détermine grâce à des courbes⁴, le rapport N à appliquer à la transmission automatique **22**. Le dispositif **21** de blocage (et de déblocage) en logique floue permet de bloquer ou non le rapport N , en tenant compte de ces informations supplémentaires : position du levier (**Levier**) et régime du moteur N_{mot} , provenant respectivement des capteurs **4** et **3**. Ce même dispositif **21** détermine une position de rapport $N_{corrige}$, qui tient compte des conditions de blocage ou de déblocage du rapport engagé. C'est cette information ($N_{corrige}$) qui est effectivement appliquée à la transmission **22**.

4. cf. figure 2.4 page 20

Chapitre 3

Un exemple de mise en application industrielle : la gamme de BVA proposée par CITROËN

Cette nouvelle gamme équipe les véhicules CITROËN, de la Saxo à la Xm. Elle comprend cinq BVA qui permettent à quasiment tous les véhicules de disposer d'une transmission automatique.

3.1 Quelques données économiques sur les BVA

Dans la vie moderne, le trafic devient toujours de plus en plus dense et les distances domicile-travail s'allongent. Tout ceci complique la vie des automobilistes.

Les constructeurs automobiles prennent en compte dans leur démarche la recherche de solutions adaptées pour une conduite sereine, afin que l'automobile demeure toujours un plaisir. La BVA constitue un élément de réponse fort. La politique d'élargissement de l'offre menée par CITROËN a porté ses fruits : sur le premier trimestre de 1998, le taux de BVA de CITROËN en France a progressé de soixante-douze pour cent (72,1 %).

Présentation de la gamme CITROËN

Les Saxo 1.4i et 1.6i sont équipées de la boîte MB3. Les Xsara 1.8i disposent de la 4HP14. Sur Xantia, les motorisations 1.8i 16 soupapes, 2.0i 16 soupapes et 1.9 Turbo D reçoivent la boîte Auto-Active. Sur les Xantia et Xm

V6 24 soupapes, la boîte auto-adaptative est disponible. Enfin, les Xm 2.0i 16 soupapes, 2.0i Turbo CT et 2.1 Turbo D disposent de la BVA 4HP18.

Ainsi, riche de trente modèles différents, la gamme CITROËN automatique est l'une des plus larges et des plus modernes du marché.

3.2 La boîte MB3: pilotage électronique et souplesse

Cette BVA à trois rapports est apparue sur Saxo en 1996. Elle équipe les Saxo 1.4i et 1.6i trois et cinq portes depuis l'année modèle 1998. Le pilotage électronique lui confère une grande souplesse et une bonne réactivité. Le calculateur de la boîte pilote le passage des rapports et dialogue avec le calculateur moteur.

Les passages de rapports sont adoucis grâce à l'estompement de couple. À chaque changement de rapport, le calculateur de la boîte donne l'ordre au moteur de réduire le couple transmis au convertisseur pour réduire au maximum les à-coups; ainsi, les passages de rapports sont plus doux que sur une boîte mécanique. L'intervention de l'électronique autorise le blocage du rapport lors d'un lever de pied rapide (cf. chapitre 2). Cette fonction est particulièrement avantageuse sur route sinueuse ou de montagne.

L'introduction de cette transmission sur le marché permet à CITROËN de proposer un des véhicules les moins chers du marché (Saxo 3 portes 1.4i SX: 74 900 FF).

Motorisation	1.4i	1.6i
Boîte de vitesses	MB3	MB3
Moteur		
Cylindrée (cm ³)	1360	1587
Puissance maxi (ch)	75	90
Périodicité des vidanges (km)	30 000	30 000
Performances (secondes)		
0—400 m	20,8	19,6
0—1 000 m	37,8	36,1
0 à 100 km/h	17,0	14,5
Vitesse maxi (km/h)	166	176
Consommations (L/100 km)		
Urbaine	10,5	11,6
Extra-urbaine	6,4	7,2
Mixte	7,9	8,8

source: document PSA

3.3 La boîte 4HP20 auto-adaptative : des performances dépendant sûrement de la motorisation

Produite par ZF, cette transmission à quatre rapports est disponible sur les Xantia et Xm, berline et break, équipées du nouveau moteur V6 24 soupapes de 194 chevaux. On peut donc supposer que les bonnes performances de ces voitures ne sont peut-être pas dues seulement à la qualité de la transmission, mais aussi à la puissance du moteur.

La 4HP20 fonctionne selon trois programmes différents. Normal, Sport et Neige. Douze lois de passage sont gérées par le calculateur selon le programme choisi, le style de conduite, le profil de la route et la charge du véhicule.

En plus de l'auto-adaptativité, la boîte 4HP20 offre certaines fonctions qui assurent une meilleure sécurité aux voyageurs :

- blocage du rapport lors d'un lever de pied rapide;
- rétrogradage d'un voire de deux rapports lors d'un freinage;
- maintien du rapport enclenché pied levé;

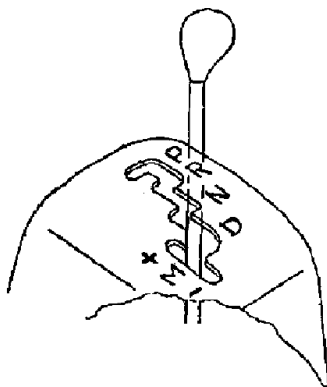


FIG. 3.1 – Schéma de la grille de sélection de la boîte 4HP20
source : brevet FR 97 06643

Cette boîte est commandée par une grille de sélection (voir figure 3.1) et par deux boutons poussoirs (un pour le programme 'Sport' et l'autre pour le programme 'Neige'). Des moyens de visualisation de l'état des programmes et du rapport engagé sont intégrés dans le tableau de bord. La ligne parallèle M, + et - sert à commander la boîte manuellement. **P** correspond à la position de parking, **R** est la marche arrière, **N** est le point mort et **D** correspond à la marche avant.

Cependant, cette voiture ne compte pas parmi les moins chères et les moins puissantes du marché, on ne peut donc pas vérifier la qualité de la BVA. De même, la cylindrée étant relativement grosse, la forte consommation ne peut pas être expliquée par la mauvaise qualité de la boîte. À titre indicatif, une Xantia V6 Exclusive automatique coûte 199 000 FF et une Xm V6 Exclusive automatique revient à 302 200 FF.

Motorisation	V6 24s	V6 24s
Boîte de vitesses	4HP20	4HP20
Moteur		
Cylindrée (cm ³)	2946	2946
Puissance maxi (ch)	194	194
Périodicité des vidanges (km)	à vie	à vie
Performances (secondes)		
0—400 m	16,9	17,2
0—1 000 m	30,5	31,1
0 à 100 km/h	9,6	10,2
Vitesse maxi (km/h)	225	230
Consommations (L/100 km)		
Urbaine	17,2	18,0
Extra-urbaine	8,4	8,4
Mixte	11,6	11,9

source : document PSA

3.4 La boîte Auto-Active : la logique floue pour des performances proches des boîtes mécaniques

Cette BVA est produite par CITROËN en collaboration avec PEUGEOT et RENAULT. Elle équipe les Xantia 1.8i 16 soupapes, 2.0i 16 soupapes et 1.9 Turbo D berline et break. Grâce à l'introduction de la logique floue, le calculateur a un pouvoir de décision proche de l'esprit humain. Ainsi, le conducteur peut choisir de privilégier l'économie d'essence ou la sportivité. Le calculateur interprète tous les paramètres en leur attribuant des degrés d'importance et le passage des vitesses se fait quasiment au même moment que si la boîte était mécanique. Ceci permet d'obtenir des performances optimales pour une consommation maîtrisée.

La boîte Auto-Active dispose de dix lois de passage et de trois programmes (Normal, Sport et Neige). Le fonctionnement diffère peu de celui de la 4HP20, c'est à dire :

- commande par grille de sélection¹ et deux boutons poussoirs pour les programmes 'Sport' et 'Neige';
- rétrogradage lors du freinage;
- blocage de rapport en lever de pied rapide;
- blocage du rapport si le pied est levé;
- moyens de visualisation du rapport et du programme enclenchés sur le tableau de bord;

Cependant, les programmes 'Sport' et 'Neige' n'étaient peut-être pas nécessaires. En effet, l'avantage de la logique floue est d'attribuer un ensemble pour la sportivité du conducteur et un autre pour l'état de la route. Si le conducteur doit quand même sélectionner un programme, ces ensembles flous ne sont plus très utiles (leur importance est alors moindre). La sélection des programmes (en particulier le programme 'Sport') pourrait alors éventuellement être supprimée.

Du point de vue du client, une Xantia essence coûte entre 134 500 FF et 164 500 FF et la Xantia 1.9 TD SX Pack Clim revient à 143 500 FF².

Motorisation	1.8i 16s	2.0i 16s	1.9 TD
Boîte de vitesses	Auto-Active	Auto-Active	Auto-Active
Moteur			
Cylindrée (cm ³)	1761	1998	1905
Puissance maxi (ch)	112	135	90
Périodicité des vidanges (km)	à vie	à vie	à vie
Performances (secondes)			
0—400 m	19,8	18,9	20,0
0—1 000 m	36,0	34,6	36,9
0 à 100 km/h	14,7	12,9	15,8
Vitesse maxi (km/h)	186	195	175
Consommations (L/100 km)			
Urbaine	12,9	13,9	11,5
Extra-urbaine	6,6	7,0	6,0
Mixte	8,9	9,5	8,0

source : document PSA

1. cf. figure 3.1

2. Pour de plus amples informations, cf. annexes : documents PSA

Conclusion

Les transmissions automatiques ont donc beaucoup avancé grâce à l'introduction de la logique floue et du pilotage électronique dans leurs calculateurs. Le système est ainsi devenu plus 'intelligent' et permet donc son utilisation sur des voitures moins puissantes.

Ainsi, la gamme CITROËN a vu le jour. Les boîtes de vitesses utilisées ont été développées en collaboration avec d'autres constructeurs français (PEUGEOT et RENAULT). Les études menées sur ces voitures montrent bien que les voitures ainsi produites n'ont pas de grands écarts de performances avec des véhicules à boîte manuelle, ce qui prouve l'efficacité des nouvelles transmissions.

Pour finir, les boîtes de vitesses seront sûrement beaucoup plus utilisées à l'avenir. Bien que ces systèmes ne soient pas encore aussi performants que le cerveau humain, dans un avenir proche, ils seront largement assez puissants pour remplir leurs fonctions. Cependant, en France, un problème de culture ralentira encore la suprématie de ces boîtes par rapport aux autres pays industrialisés.

Bibliographie

Brevets :

- AUTOMOBILES PEUGEOT et AUTOMOBILES CITROËN, *Procédé et dispositif de pilotage d'une boîte de vitesses automatique notamment de véhicule automobile à l'aide d'un calculateur de boîte de vitesses à logique floue*, France, 2 748 585, 1996.
- RENAULT SA, AUTOMOBILES PEUGEOT et AUTOMOBILES CITROËN, *Procédé de commande des changements de rapports d'une transmission automatique*, France, 2 765 651, 1997.
- AUTOMOBILES PEUGEOT et AUTOMOBILES CITROËN, *Dispositif de commande d'une boîte de vitesses automatique à rapports étagés*, France, 2 764 025, 1997.

Livres :

- TONG-TONG (J.-R.), *La logique floue*, Paris, Éditions Hermès, 1995.
- BORNE (P.), ROZINOER (J.), DIEULOT (J.-Y.) et DUBOIS (L.), *Introduction à la commande floue*, Paris, Éditions Technip, 1998.

Sites Internet :

- <http://www.fuzzytech.com/>
- <http://www.psa-peugeot-citroen.com/>
- <http://wacs.free.fr/>
- <http://students.ssfs.org/>
- <http://ciel.ac-nancy-metz.fr/>

Autres :

- documents PSA : AUTOMOBILES PEUGEOT et AUTOMOBILES CITROËN.

Table des figures

1.1	Schéma général d'une BVA	9
1.2	Vue éclatée de la motrice, de la réceptrice et du couvercle . . .	10
1.3	Schéma en coupe d'un coupleur traction	11
1.4	Schéma d'un bloc hydraulique	12
1.5	Schéma d'un train épicycloïdal	12
1.6	Photo de bandes de freinage	13
2.1	Schéma du fonctionnement de la BVA pourvue d'un calculateur en logique floue	15
2.2	Graphique du rapport en fonction de la pédale d'accélérateur sur une route sinueuse	17
2.3	Schéma de fonctionnement d'une BVA en logique floue	18
2.4	Graphique du rapport en fonction de l'ouverture du papillon d'admission de combustible α_{pap} et de la vitesse V_{veh}	20
2.5	Schéma du fonctionnement du calculateur décrit dans le brevet FR 97 08234	21
3.1	Schéma de la grille de sélection de la boîte 4HP20	24

Annexes

1. Annexe I : Première page du brevet FR 96 05870
2. Annexe II : Première page du brevet FR 97 08324
3. Annexe III : Première page du brevet FR 97 05870
4. Annexe IV : Extraits de documents CITROËN