

DIXIEME RENCONTRE INTERNATIONALE DU GERPISA
TENTH GERPISA INTERNATIONAL COLLOQUIUM

La coordination des compétences et des connaissances dans l'industrie automobile
Co-ordinating competencies and knowledge in the auto industry

6-8 Juin 2002 (Palais du Luxembourg, 15, rue Vaugirard, 75006 Paris, France)

**LA COORDINATION DES ACTIVITES D'INNOVATION DANS LES CONSORTIUMS
DE RECHERCHE SUR LES TECHNOLOGIES EMERGENTES:
LE CAS DU PARTNERSHIP FOR A NEW GENERATION OF VEHICLE (PNGV)**

*Philippe LARRUE**
INSEAD, Fontainebleau, France

INTRODUCTION

Au travers du cas des recherches sur les batteries avancées, cet article propose une analyse des conditions d'efficacité des consortiums de recherche pré- compétitive durant les phases d'émergence. Pendant ces périodes caractérisées par une forte incertitude technologique et une faible institutionnalisation des activités, les consortiums permettent le regroupement autour d'un objectif commun des laboratoires scientifiques, des représentants des pouvoirs publics ainsi que des entreprises potentiellement utilisatrices et productrices.. Le fait que chacune des grandes régions économiques leader dans le domaine des batteries avancées ait établi une ou plusieurs de ces organisations -l'USABC (United States Advanced Battery Consortium) et le PNGV (Partnership for a New Generation of Vehicle) aux Etats-Unis, les consortiums « batteries » des Programmes-Cadres Européens en Europe, et le LIBES (Lithium Battery Energy Storage) au Japon¹- amène à interroger leur capacité à relever les défis que représente le développement d'une batterie de grande capacité pouvant être utilisée dans un véhicule électrique ou hybride.

* Ce travail a donné lieu à de nombreuses investigations en Europe, aux Etats-Unis et au Japon avec le soutien de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie), de EDF, du Conseil Régional Aquitaine et de l'ADIT (Agence pour la Diffusion de l'Information technologique). Nous tenons à remercier également Yannick Lung et Bernard Jullien de E3i à l'Université Montesquieu Bordeaux IV.

¹ Pour une analyse comparative approfondie des principaux consortiums dans le domaine des batteries avancées, voir Larrue (2000, 2002).

Après plus d'un siècle de recherche dans ce domaine où se sont déjà succédés plusieurs cycles d'engouements et de quasi-abandon, quel sont les enseignements que l'on peut tirer de ces regroupements -sans égal auparavant- des forces scientifiques et technologiques durant la décennie des années quatre-vingt dix ?

La période actuelle est particulièrement propice à un tel « bilan » : la plupart de ces initiatives arrivent à échéance. C'est le cas notamment du PNGV qui, après huit ans d'existence, a récemment été démantelé et remplacé par une autre initiative, le FreedomCAR, dédié spécifiquement aux piles à combustible (Committee on Science, 2002). Plus généralement, les nouvelles technologies de batteries -dites « avancées »- qui pendant la décennie 90 ont permis la croissance spectaculaire de l'électronique portable et ont soulevé tant d'enthousiasme, n'ont pas rempli leurs promesses pour les Véhicules Electriques et Hybrides (respectivement VE et VH) et les activités de R&D les concernant se sont fortement réduites².

Ces initiatives très volontaristes dans un domaine technologique « résistant » nous amènent plus généralement à interroger le statut de la rupture technologique et ses implications en termes de déterminisme technique au sein des théories économiques du changement technologique. Bien que les termes de paradigmes technologiques, « *technological guideposts* », « *dominant design* » et autres conceptualisations de l'innovation majeure datant des années 80 ne soient plus aujourd'hui au centre des théories évolutionnistes, les approches plus récentes, telles les recherches sur les régimes technologiques, restent empruntes d'un déterminisme technologique plus ou moins diffus (Jullien, 1999). Selon cette approche, les modèles d'innovation (*innovation patterns*) sont « *spécifiques aux technologies* » (Malerba et Orsenigo, 1995) et l'éventail des stratégies efficaces accessibles aux acteurs découle en sens unique de ces conditions données *a priori*. Sans nier que les technologies ont des particularités auxquelles les acteurs se confrontent ou dont ils tirent profit, il nous semble que la focalisation sur ces « invariants technologiques » amènent les auteurs évolutionnistes à négliger les possibilités, notamment collectives, que les acteurs ont de les influencer. L'objectif est donc ici d'inverser dans cette approche ce que sont les paramètres et les variables : les conditions technologiques associées à chaque régime deviennent influencées par les modalités collectives d'organisation privilégiées par les acteurs afin de coordonner leurs activités d'innovation.

Le cas des batteries pour VE et VH peut sembler *a priori* mal se plier aux démarches intellectuelles visant à réintroduire les composantes sociale et stratégique dans la création technologique. En effet, depuis maintenant un siècle, et en particulier les premiers travaux de

² Divers autres consortiums ont déjà fait l'objet d'études de cas précises : Voir par exemple : Irwin et Klenow (1994), Grindley *et al.* (1996), Odagiri *et al.* (1997). Pour des études quantitatives sur l'efficacité des consortiums, voir notamment les travaux de M. Sakakibara (1997 ; 2002) sur les consortiums japonais.

Thomas Edison sur les batteries nickel-fer pour VE, les batteries de grande capacité semblent en perpétuelle émergence mais jamais n'émergent. Ce n'est ainsi pas un hasard si K. Pavitt utilise la comparaison des progrès effectués dans le domaine du stockage de l'information à ceux qu'ont connus les technologies de stockage électrochimique de l'énergie pour illustrer la proposition suivante : « *l'étendue de la gamme des opportunités dans différents domaines technologiques dépend grandement de ce que la nature nous permet de faire* » (1998). Loin de prouver que cette histoire était écrite d'avance, il nous semble que ce cas d'une technologie « non victorieuse » nous en dira plus sur le véritable statut de la rupture dans la dynamique technologique que les technologies « victorieuses », telle que les semi-conducteurs, au potentiel de développement sans cesse renouvelé par une nouvelle avancée significative. Nous soutenons ainsi que c'est justement parce que les acteurs de ce processus d'innovation apparaissent fortement contraints par la technique qu'ils ont du inventer des modalités organisationnelles originales -les consortiums de recherche- permettant de faire progresser cette technologie « revêche ». De plus, si l'on arrive à proposer un cadre non-déterministe pour expliquer la dynamique technologique et institutionnelle dans un tel domaine, ce cadre, construit dans l'adversité des faits, n'en sera que plus « résistant »...

Pour mener à bien ce travail, une section préliminaire pose le cadre conceptuel qui sous-tend notre analyse. Ce cadre est construit sur la base des critiques formulées à l'encontre de l'approche évolutionniste en termes de régimes technologiques telle qu'elle est formulée par Malerba et Orsenigo. Dans le cadre conceptuel proposé, nous avançons que le danger majeur d'une technologie émergente n'est pas tant celui d'une absence de rupture que celui d'un blocage institutionnel empêchant les différents acteurs, concurrents ou provenant le plus souvent d'industries très diverses dans ces phases premières d'une technologie, de se coordonner en conséquence et de tenter d'influer sur les caractéristiques de la technologie.

Le cas du consortium PNGV est ensuite analysé afin d'étudier concrètement dans quelle mesure ce consortium a constitué un espace de coordination permettant aux participants de tenter de « façonner un régime technologique » cohérent avec les différents besoins dont ils sont porteurs. Nous étudions successivement au sein du PNGV la résolution des deux arbitrages stratégiques affectant les caractéristiques principales du régime technologique des batteries de grande capacité.

LE DESIGN INSTITUTIONNEL DES REGIMES TECHNOLOGIQUES : LE CAS DES BATTERIES POUR VE ET VH

Cette première section a pour objet de justifier la mise en place d'un espace d'intervention concerté et négocié par les acteurs impliqués dans les activités de recherche et d'innovation relatives aux batteries pour VE et VH leur permettant de « reprendre le contrôle » de ce difficile processus d'émergence. Nous rendons opérationnelle cette argumentation en posant au cœur de la dynamique technologique deux arbitrages stratégiques, incitation/diffusion et exploration/exploitation, que les acteurs se doivent de résoudre. Ceux-ci correspondent aux deux grandes caractéristiques des régimes technologiques, respectivement les conditions d'appropriabilité et d'opportunité, que les auteurs évolutionnistes attribuent à la « nature des technologies ». Les conditionner à des modes de résolution, plus ou moins individuels ou collectifs, d'arbitrages stratégiques, nous semblent être une étape de plus dans la démarche d'endogénération de la technologie, présente dans le programme originel des théories évolutionnistes mais négligée par la suite.

Le déterminisme technique des régimes technologiques

Au sein des approches des évolutionnistes pionniers, tels que Nelson, Winter et Dosi, les technologies, loin d'être neutres comme c'est le cas dans la théorie micro-économique néo-classique, incorporent leur propre « notion de progrès ». Celle-ci se concrétise dans la perception, l'acceptation, par les acteurs du processus d'innovation d'un ensemble limité d'alternatives technologiques possibles et d'opportunités de futurs développements. Ainsi, « *pour toute activité innovatrice donnée, la probabilité de développements fructueux et l'amplitude de ces développements sont liés aux possibilités technologiques induites par le paradigme technologique concerné* » (Dosi et Orsenigo, 1988). Bien qu'elles accordent aux stratégies une plus grande importance, ce déterminisme technique est encore marqué au sein des approches plus récentes en termes de régimes technologiques initiées par Malerba et Orsenigo (1993; 1995). Ces derniers posent explicitement l'hypothèse que le modèle d'innovation prédominant dans une industrie est déterminé en grande partie par les caractéristiques intrinsèques de la technologie sous-jacente et, plus généralement, par la nature des processus d'apprentissage associés à cette technologie. Ceci ne sous-entend pas que la technologie soit figée, mais que certaines caractéristiques de cette technologie, situées à un niveau analytique plus élevé que les diverses formes alternatives que peuvent prendre cette technologie (niveau de la « technologie générique »), déterminent les problèmes communs auxquels vont se confronter les acteurs impliqués sur cette technologie.

Ces caractéristiques, qui représentent l'environnement technologique dans lequel les firmes d'une industrie opèrent, sont définies par les conditions de cumulativité, d'opportunités et d'appropriabilité spécifiques à chaque technologie, ainsi que par les caractéristiques de leur base de connaissance.

Tableau 1. - Les régimes technologiques et leurs stratégies associées

Caractéristiques des régimes technologiques	Définitions	Stratégies associées
Conditions de cumulativité	Degré avec lequel des nouvelles technologies se construisent sur la base de technologies existantes	Une forte cumulativité rendra viable au contraire des stratégies d'exploitation, c'est à dire de spécialisation dans l'amélioration des technologies existantes profitant ainsi des économies d'apprentissage.
Conditions d'opportunités	Facilité d'accès à l'innovation par des innovateurs potentiels	Des conditions de fortes opportunités vont impliquer des stratégies d'exploration afin de découvrir et de maîtriser ces opportunités. Les conditions d'appropriabilité agissent comme un biais dans ces relations, empêchant, dans le cas de faible appropriabilité, les innovateurs de profiter pleinement de la valeur de leurs innovations. Ce sont les imitateurs qui sont alors dans une situation privilégiée et les innovateurs devront tenter de protéger leurs avancées.
Conditions d'appropriabilité	Capacité des innovateurs à protéger leurs innovations de l'imitation	
Caractéristiques principales de la base de connaissances	Spécificité (connaissances tacites/spécifiques codifiées/génériques) Complexité (nombres de corps scientifiques et technologiques différents, variété des compétences nécessaires)	Jouent notamment sur les conditions d'appropriabilité et d'opportunités. La spécificité et la complexité renforcent l'avantage des « insiders ».

Les deux auteurs présentent ainsi une cartographie des stratégies viables selon les combinaisons de caractéristiques des régimes technologiques.

Tableau 2. - Les stratégies technologiques viables selon les caractéristiques des régimes technologiques

		Forte opportunité		Faible opportunité	
		Forte cumulativité	Faible cumulativité	Forte cumulativité	Faible cumulativité
Forte appropriabilité	Exploration		Exploration	Exploration	Pas d'activité innovante
	<u>ou</u>				
Faible appropriabilité	Exploration et accroissement de l'appropriabilité		Exploration et accroissement de l'appropriabilité	Exploration et accroissement de l'appropriabilité	Pas d'activité innovante
	<u>ou</u>		<u>ou</u>	<u>ou</u>	
	Exploration et accroissement de l'appropriabilité		Imitation	Imitation	
	<u>ou</u>				
	Exploration				

Source : Malerba, Orsenigo, 1993, p. 61

Le régime technologique des batteries de grande capacité

Cette approche laisse apparemment peu d'espoir de réaliser des avancées significatives dans le domaine des batteries. Celui-ci est caractérisé par un faible taux d'opportunité, une forte appropriabilité et une faible cumulativité entre différentes générations de batteries. La conclusion issue de l'analyse précédente est donc sans appel : « *pas d'activité innovante* ». On peut même noircir encore le tableau : les technologies de batteries ne sont pas soutenues par une base de connaissance scientifique solide et bien maîtrisée.

Les caractéristiques du régime technologique des batteries

Le *faible taux d'opportunité* des technologies de batteries est une des caractéristiques essentielles de ce domaine. Les associations possibles de matériaux d'anodes et de cathodes, *i.e.* les couples électrochimiques, sont en nombre fini et limité, tous indiqués dans la table périodique des éléments. Et parmi tous ces couples électrochimiques, dont les performances théoriques sont connues, seules quelques-uns peuvent véritablement être utilisés pour servir de base à une technologie de batterie. Si de nombreuses variantes existent au sein d'un même couple, elles servent la plupart du temps à se rapprocher le plus près possible des performances théoriques du couple électrochimique de base (les batteries plomb par exemple après plus d'un siècle d'industrialisation n'atteignent que 20% de leurs performances théoriques), à accroître leur

longévité (cyclabilité et durée de vie) ou à en abaisser le coût. Il ne s'agit donc pas à proprement parler de nouvelles options.

La *forte appropriabilité* provient de ce que le développement d'une batterie est une activité d'ingénierie très complexe, avançant par essais et erreurs, affinant petit à petit le design des cellules, parfois au moyen de matériau très complexes pouvant rester inconnue des autres producteurs. De plus, un des points essentiels du succès de la production des batteries, notamment des batteries pour VE ou VH pour lesquelles le coût est déterminant, réside dans les procédés de production en grande quantité. Non incorporées dans le produit, les connaissances relatives à ces procédés sont plus aisément appropriables par l'innovateur.

La *faible cumulativité* entre différentes générations de batteries découle des spécificités associée à chaque batterie, notamment aux propriétés et particularités des matériaux actifs utilisés. La chimie de base comme les procédés de production des batteries à base de nickel n'ont que peu de choses en commun avec la génération qui a suivi à savoir les batteries à base de lithium.

Enfin, *la base de connaissance apparaît complexe et spécifique*. La complexité de cette base de connaissance tient au fait que toutes les technologies de batteries nécessitent des recherches impliquant en particulier la chimie du solide, la métallurgie et la science des matériaux. Chacune ajoute ensuite des connaissances plus spécifiques par exemple en chimie des carbones, thermodynamique des liquides, science des polymères, chimie des liens, etc. Les recherches sur les batteries lithium-ion par exemple, « *regroupent des spécialistes agissant dans des domaines aussi divers que, entre autres, l'électrochimie, la chimie des polymères, la chimie du solide, la physique, la cristallographie* » (Zaghib, 1995, p. 5).

La spécificité de la base de connaissance tient à la prédominance des connaissances issues de l'ingénierie des batteries, par nature plus locale. Sans nul doute les technologies de batteries appartiennent à ces industries de haute technologie « *où les tentatives visant à repousser la frontière technologique sont lentes, difficiles et onéreuses, du fait des indications très limitées que la science est capable de leur fournir* » (Rosenberg 1994, p. 326). Selon D. Sperling, un expert reconnu dans le domaine des véhicules alternatifs, « *au moins vingt types différents de batteries ont été proposés comme candidats pour le VE. Malheureusement, la science sous-jacente des technologies de batteries est très complexe et n'est pas bien comprise, ce qui rend problématique l'ingénierie des batteries de grande capacité* »³. Cette particularité du domaine des batteries est d'autant plus dommageable qu'elle a tendance à s'auto-entretenir : les recherches scientifiques étant relativement pauvres et elles-mêmes dépendantes de fastidieux processus

³ *Chemistry and Industry*, 7/08/1995, n°15.

d'essais et erreurs, elles attirent peu de ressources. Ainsi que l'expliquait J-J. Payan, alors Directeur de la Recherche chez Renault et Président du Programme français PREDIT, « *les phénomènes électrochimiques impliqués dans une batterie sont encore insuffisamment connus et l'électrochimie n'enthousiasme pas les chercheurs* » (Laffitte, 1993, p. 94). De l'avis même d'un scientifique en électrochimie, J-Y Sanchez, « *la science des batteries en elle-même n'est pas très excitante et, du coup, ne draine pas nécessairement les meilleurs chercheurs* »⁴.

Arbitrages stratégiques et régimes technologiques dans le domaine des batteries

Ces caractéristiques génériques associées aux batteries ne doivent en rien nous amener à arrêter à ce niveau notre analyse, pas plus qu'elles doivent justifier une désertion de ce domaine. Au contraire, il s'agit selon nous de s'interroger sur les modalités organisationnelles permettant d'influer, de construire socialement, ces caractéristiques. Selon Malerba et Orsenigo « *la nature des régimes technologiques spécifiques identifie des problèmes qui sont communs à l'ensemble des firmes présentes dans cet environnement* » (1993, p. 60). C'est justement cette « communauté de destin » qui peut pousser les acteurs à se coordonner. Une fois prise en compte les multiples possibilités d'actions collectives, les données du problème sont complètement modifiées. La question n'est plus : « *Quelles sont les caractéristiques technologiques qui valident des stratégies individuelles d'exploration ou d'exploitation?* ». Mais : « *Quelles stratégies vont permettre collectivement de contrôler ces régimes technologiques? Comment mettre en œuvre de telles stratégies collectives, comment trouver des compromis acceptables (« taux' d'opportunité ou d'appropriabilité souhaitables » par tous les participants ?* ». Après avoir formalisées ces questions en termes d'arbitrages stratégiques que les acteurs se doivent de résoudre dans les phases d'émergence, nous avançons l'idée que les consortiums de recherche peuvent, sous certaines conditions, fournir une infrastructure institutionnelle permettant de résoudre ces arbitrages.

Arbitrage exploration/exploitation et opportunités technologiques dans le domaine des batteries

Si le domaine des batteries ne se caractérise pas par la profusion des options technologiques disponibles, plusieurs sont *a priori* envisageables pour servir de base à une batterie pour VE. Plus que leur nombre, c'est la diversité de leur statut qui fait naître un arbitrage entre deux logiques, celle d'exploration et celle d'exploitation.

En effet, différents couples électrochimiques ont été, à un moment ou à un autre de la longue histoire des batteries, sujets à des recherches afin de fournir l'énergie nécessaire à un VE. Au début des années 90 cependant, excepté la batterie plomb qui équipait déjà une flotte (très modeste) de véhicules électriques, seules quelques technologies de batteries avaient déjà fait

⁴ Entretien avec J-Y Sanchez, Laboratoire CNRS LEPMI, Grenoble, juin 1999.

l'objet de nombreux tests sur véhicules (*e.g.* nickel/fer, et sodium/soufre⁵) et s'étaient révélées peu concluantes lors de ces tests. Parmi les autres couples possibles, certaines batteries de petites tailles étaient déjà produites pour l'électronique portable (nickel-métal hydrure, Lithium-ion à partir de 1991-92), ou pour les applications militaires/spatiales (lithium haute température). Des couples plus incertains encore existaient également en laboratoire au stade du développement de cellules ou modules et n'avaient jamais été assemblés en batteries pour quelques applications que ce soit (lithium-polymère). Enfin, des concepts ou des brevets « exotiques » (parfois anciens et hors du domaine de l'électrochimie) faisaient naître des rumeurs, voire des fantasmes, chez certains, de batteries miraculeuses telle que la batterie « tout plastique ».

Tableau 3. - Etat d'avancement des différentes technologies au début des années 90

Etat d'avancement par rapport à l'application VE (par ordre décroissant d'expérience accumulée)	Technologies de batteries
Technologies confirmées (testées sur véhicules, voire commercialisées)	Plomb
Technologies testées sur VE avec résultats peu concluant/pas suffisant ou en cours de tests	Plomb avancé ; Nickel-Cadmium Nickel-Zinc; Nickel-Fer Aluminium-air; Sodium-Soufre Zinc-Brome ; Zinc-air Nickel-Cadmium ; Nickel-Métal Hydrure
Technologies confirmées sur autres applications (ou en voie de l'être)	Lithium-ion Electronique Spatial-défense
Technologies pour VE au stade de la recherche	Lithium métal Nickel-hydrogène ; Lithium métal Sodium-Chlorure de Nickel Lithium/polymère
Technologies « exotiques »	Batterie plastique, et autres associations de matériaux « sur le papier » tels que batteries Sodium/polymère

Confrontés à cette diversité de statuts des technologies quant à leurs états d'avancements et niveau d'incertitude respectifs, les fabricants de batteries, constructeurs automobiles comme les pouvoirs publics doivent alors dans l'élaboration de leur plan d'action choisir entre, pour reprendre les termes de J. March, « *l'exploration de nouvelles opportunités et l'exploitation d'anciennes certitudes* », ou encore entre « *investissements en apprentissage* » et « *consommation des compétences courantes* » (March, 1991). Cette question de la répartition des efforts entre exploration des nouvelles technologies et exploitation des technologies plus connues s'est posée avec force au début des années quatre-vingt dix. En effet, ainsi que l'exprime très clairement un chercheur de chez Renault, « *durant les dernières années, les activités de*

⁵ Il ne s'agit ici que des tests récents. D'autres ont également eu lieu sur d'autres couples dans les années 60-70 (argent-zinc chez GM, zinc-air chez EDF).

*développement de batteries de traction se sont accrues suite au mandat californien et à la perspective d'un marché du VE dans le futur proche. En conséquence, les performances des batteries existantes se sont rapidement améliorées en termes de densité énergétique et de cycle de vie. Dans le même temps, de nouveaux systèmes de batteries semblent pouvoir devenir disponibles dans les cinq à dix ans à venir. Ce faisant, la compétition entre l'amélioration des technologies existantes, telles que les batteries plomb ou alcalines, et le développement de batteries à haute énergie, telle que les batteries sodium-soufre, sodium-chlorure de nickel, devient de plus en plus importante » (Bögel *et al.*, 1995, p. 99).*

La résolution de cet arbitrage au sein des consortiums dans un domaine aussi incertain que celui des batteries tient avant tout dans leur capacité à répartir de manière concertée collectivement les efforts de chacun entre ces différentes options. Cette organisation permet ainsi d'explorer une plus grande partie du domaine des possibles, de donner une chance à plusieurs technologies, voire à tenter d'en découvrir de nouvelles encore à l'état de concept, le temps que celles-ci puissent révéler en partie leurs mérites respectifs (stratégie dite « d'exploration »), au lieu d'effectuer des choix individuels, au cas par cas, sur la base des connaissances incomplètes existantes au début des recherches (stratégie dite « d'exploitation »). Le temps et les sommes dévolues aux technologies qui apparaîtront après coup « perdantes » se justifient alors par l'augmentation des chances de trouver, parmi les autres, la « bonne » technologie. L'exploration peut être plus ou moins profonde (recherche fondamentale permettant de créer une base de connaissance scientifique permettant de soutenir les options existantes, voire d'en découvrir d'autres) ou étendue (R&D parallèle sur plusieurs options existantes et/ou en direction de plusieurs applications). Cette combinaison d'activités d'exploration étendue et/ou profonde, menée et coordonnée par un grand nombre d'acteurs publics et privés concernés au sein d'un consortium influence les conditions d'opportunités de même qu'elle participe à la construction d'une base de connaissance plus complète et unifiée.

De plus, l'instauration au sein de ces consortiums, dès leur création, d'un calendrier et de critères de sélection clairs et uniques permet également de faciliter le douloureux moment de la sélection, qui sépare la période d'exploration de la période d'exploitation. En associant des laboratoires scientifiques, des producteurs de batteries avancées et des entreprises potentiellement utilisatrices de ces batteries (industrie automobile et électrique pour l'essentiel), ils permettent une définition commune des mérites dont devra être dotée la « bonne » technologie de batterie. Les performances-cibles à atteindre par une batterie pour VE étaient en effet loin d'être claires au début des années quatre-vingt dix et extrêmement délicates du fait que différents types de véhicules électriques étaient envisageables et que les constructeurs automobiles pouvaient être tentés de cibler différents modèles. Les possibilités d'arbitrages entre les divers critères de performances des technologies de batteries (densités énergétique et volumétrique, puissance,

cycle de vie, coûts, pour ne citer que les principales) sont particulièrement limitées et les gains sur un axe s'établissent le plus souvent au détriment d'un ou plusieurs autres. De plus, quand bien même il y aurait eu un accord entre les différents « clients » quant aux performances désirées, la mesure même de ces performances pour chaque batterie était également problématique du fait du manque d'uniformisation des méthodes de mesures et de tests. Dans un tel contexte, les consortiums de recherche mis en place -notamment l'USABC et le PNGV- se sont révélés très efficaces en établissant des « *target performances* » issu de compromis entre les différents constructeurs automobiles et en perfectionnant et diffusant des méthodes de tests qui servent aujourd'hui de référent bien au-delà des frontières du consortium.

Arbitrage incitation/diffusion et appropriabilité dans le domaine des batteries

L'arbitrage incitation diffusion naît du conflit entre les avantages, d'une part, d'une coopération entre divers industriels et, d'autre part, la nécessité de maintenir une certaine appropriabilité des résultats afin d'inciter ces industriels à s'engager réellement dans ces recherches. Les consortiums offrent un cadre de négociation relativement stable permettant d'établir des compromis institutionnels propres à la configuration de chaque domaine technologique. Ils peuvent ainsi instaurer et faire évoluer, via des ajustements mutuels et la régulation des rapports de force, le « dosage » tenable de partage et d'engagement. Ainsi, les consortiums se révèlent être des « *lieux de forte créativité institutionnelle dans la mesure où les acteurs doivent imaginer des règles de partage et d'appropriation des connaissances susceptibles de gérer les multiples tensions entre priorité individuelle et apprentissage collectif, entre membres et non-membres, entre utilisateurs privilégiés et tous les utilisateurs* » (Cassier, Foray, 1999, p. 10).

Tableau 4. - La justification théorique traditionnelle de l'efficacité des consortiums

Dimension	Défaillance	Objectif à satisfaire	Solutions offertes par les consortiums
Incitation	Les connaissances sont partiellement non-appropriables : d'où un sous-investissement en recherche	Contrôle des externalités négatives (hypothèse d'engagement/commitment hypothesis)	Dispositifs de diffusion contrôlée des résultats, spécifiques au domaine technologique et à la configuration des participants au consortium
	Les connaissances sont non-rivales et ont une valeur potentiellement réalisable sur plusieurs technologies et applications : d'où des duplications excessives	Exploitation des externalités positives (hypothèse de partage/sharing hypothesis)	Rôle de l'Etat, comme porteur d'intérêts particuliers mais aussi comme arbitre des négociations
Diffusion			

Note : les termes « hypothèse d'engagement » et « hypothèse de partage » sont de Irwin et Klenow, 1994

Il est alors particulièrement intéressant de comprendre comment se combinent les éléments de concurrence et de coopération en leur sein. En effet, certaines des entreprises participantes seront amenées par la suite à se concurrencer sur les marchés liés au produit résultant de leur effort commun (marché des batteries mais aussi des véhicules électriques, ou même de l'électricité). En ce qui concerne les relations entre ces entreprises « partenaires/rivales », il apparaît bien vite à l'examen qu'il s'agit dans la plupart des cas d'une concurrence aménagée et régulée -selon des modalités très spécifiques déterminées en interne- et non d'une véritable coopération. Malgré le terme de « pré-compétitif » qui leur est adjoint, les consortiums de recherche n'impliquent pas de trêves temporaires des rivalités concurrentielles entre celles-ci mais bien plus une coordination des tâches de chacune afin de maximiser les chances de réussites.

Une attention particulière est portée au rôle de l'Etat dans ces consortiums, non seulement comme financeur mais également souvent en tant qu'« arbitre » et garant d'un certain équilibre des forces en présence lors des nombreuses négociations auxquelles donnent lieu les activités communes et les nombreuses interdépendances entre les différents participants Tripsas *et al.* (1995) Ceci est particulièrement important dans le domaine des batteries pour VE, qui initient la rencontre entre les producteurs de batteries et les géants de la construction automobile. Au-delà du pouvoir que leur confère leur taille, même si cela change, ces derniers n'ont pas à proprement parler de tradition d'étroite coopération avec leurs fournisseurs.

COORDINATION DES ACTIVITÉS DE RECHERCHE ET D'INNOVATION AU SEIN DU PNGV

Le début des années quatre-vingt-dix est marqué par une dynamique favorable aux coopérations pré-compétitives entre les Trois Grands et une détente des relations qu'entretiennent ces derniers avec les autorités fédérales. Plus spécifiquement, les Trois Grands et l'administration Clinton se doivent de répondre rapidement à l'engagement massif des constructeurs japonais dans les recherches sur les véhicules alternatifs. Bien plus qu'une simple « *histoire de voiture, c'est une histoire de compétitivité nationale* »⁶. Cette urgence aboutit ainsi à la création en 1994 du PNGV, un programme de taille sans commune mesure avec les initiatives précédentes que ce soit en termes de financement (venant de diverses administrations et entreprises), du nombre de technologies considérées (parfois sans aucune application dans l'industrie automobile jusqu'alors) ou encore du groupe d'acteurs publics et privés concernés (venus d'industries aussi diverses que l'aérospatiale et l'automobile). Toutes ces ressources sont fédérées autour d'un objectif simple et clair : développer un prototype de véhicule -la *supercar*- pouvant effectuer 80 miles avec un gallon de carburant.

Résolution de l'arbitrage exploration/exploitation au sein du PNGV

Le PNGV est séparé en trois « strates » d'activité, censées répondre à trois ambitions : amélioration des techniques de production automobiles (« *goal 1* »), amélioration des technologies automobiles actuelles (« *goal 2* ») et conception de la maintenant célèbre *supercar*, capable d'effectuer 80 miles avec 1 gallon de carburant (« *goal 3* »). Ce véhicule du futur de taille « moyen-supérieur » (*sedan*), doit également avant 2004 répondre à la norme de pollution ULEV (Ultra Low Emission Vehicle) et avoir une autonomie de 380 miles. Diverses sources énergétiques sont soumises à des recherches dans ce cadre : les moteurs thermiques, les piles à combustible, les VH, ainsi que divers moteurs à carburants alternatifs, ces technologies étant combinées avec des recherches sur des matériaux légers, sur l'aérodynamisme, ou encore sur la régulation électronique des émissions de gaz.

Les choix technologiques initiaux au sein du PNGV

Reconnaissant « *qu'il est trop tôt pour déterminer quelles technologies seront privilégiées pour atteindre ses trois objectifs* », le PNGV a fixé un programme d'exploration très ambitieux (i). Les partenaires définissent en effet le consortium comme « *un portefeuille coordonné de centaines de projets de recherches mis en œuvre par le gouvernement, les constructeurs automobiles, les fournisseurs et les laboratoires universitaires* »⁷. Fin 1997, une première

⁶ Ainsi que le déclare Ken Baker, Directeur du programme VE de GM, lors de la création du PNGV. Cf. *Automotive News*, 5/09/94.

⁷ *USCAR News*, 1998.

sélection a été opérée parmi ces multiples technologies (ii). Les technologies « survivantes » devaient démontrer être intégrées leur faisabilité technique dans les premiers concept-cars en 2000, puis dans les premiers prototypes en 2004.

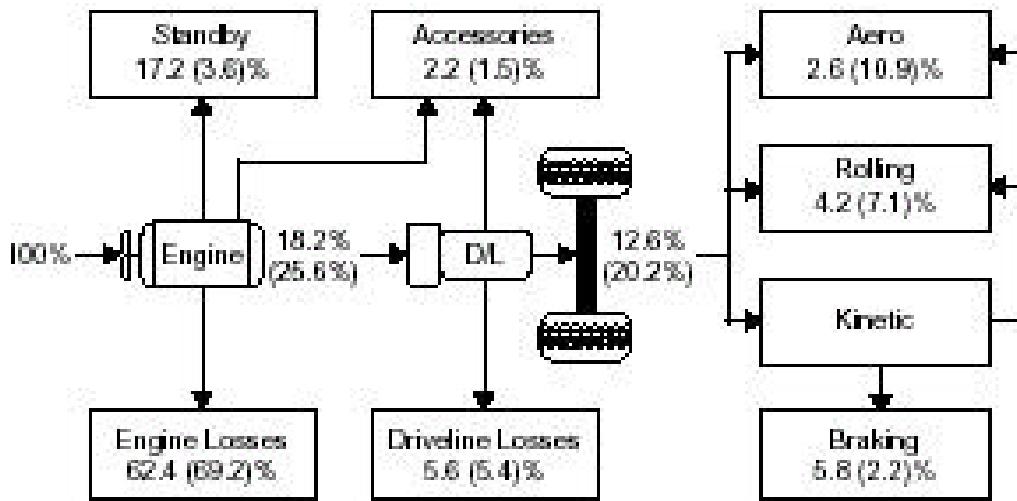
i. La phase d'exploration

Une première période de 1994 à 1997 a donc été explicitement réservée à l'exploration des diverses technologies possibles : « *durant les quatre premières années du programme PNGV, les partenaires de l'USCAR et les dirigeants de la recherche publique ont examiné une centaine de technologies et d'idées susceptibles de contribuer au programme* » (NRC, 1999, p. 63). Cette phase consiste en « *une intense investigation des technologies candidates permettant de faire émerger les gagnants potentiels durant le temps du programme* » (NRC, 1997, p. 95).

Le domaine d'activité du consortium étant très large, cette exploration est effectuée à la fois au niveau du véhicule et de ses composants. Accentuant encore la portée exploratoire du consortium, différentes combinaisons de ces technologies sont mises à l'épreuve (VH parallèle avec moteur Stirling, VH série avec moteur Stirling, VH série avec turbine à gaz, etc.).

Au niveau du véhicule, différents designs ont été soumis à des recherches (véhicules hybrides série, parallèle, etc.). Seuls les VE ont été écartés (les batteries pour VE font déjà l'objet du consortium USABC). Pour autant que les participants ne souhaitaient pas effectuer de sélection *a priori*, il était cependant nécessaire de pondérer les efforts de recherches dédiés aux différents composants du véhicule. Le critère d'efficience énergétique a constitué le critère essentiel de cette détermination des priorités. Pour cela, un bilan énergétique des véhicules actuels de taille moyenne a été réalisé afin d'identifier les composants du véhicule les moins efficents et où, par conséquent, des progrès devaient être réalisés en priorité (graphique 1).

Graphique 1. - Distribution de l'énergie dans un véhicule de taille moyenne



Source : PNGV, 1994

Notes : Les pourcentages inscrits dans les cases représentant chaque composant correspondent aux pertes d'énergie en cycle urbain et, pour le pourcentage entre parenthèses, en cycle autoroutier.

Il apparaît clairement que le moteur et ses accessoires sont parmi les principaux accusés : sur 100% d'énergie fournie par le carburant seuls 18.2% arrivent à la chaîne de traction en cycle urbain (25.6% sur autoroute). Le moteur seul représente entre 60% et 70% des pertes d'énergie selon le cycle de conduite utilisé. L'attention doit donc en premier lieu se concentrer sur l'amélioration de l'efficience énergétique de la motorisation des véhicules. Aucun progrès sur un autre composant pris isolément ne peut permettre de multiplier par trois l'efficience énergétique d'un tel véhicule afin qu'il atteigne la barre des *80 miles per gallon*.

Au niveau des composants, plusieurs technologies sont mises en concurrence. Dans le domaine du stockage de l'énergie, les technologies de batteries disputaient la place aux piles à combustible, aux volants d'inertie et aux supercapacités. Au sein même d'une technologie, diverses options étaient en concurrence, les batteries Ni/MH et li-ion par exemple en ce qui concerne les batteries. En 1996, une première série de quatre contrats de courte durée a été allouée à des compagnies déjà en contrat avec l'USABC sur les technologies Ni/MH et li-ion, afin qu'ils démontrent les performances sur VH de leurs technologies développées pour le VE dans le cadre de leurs contrats respectifs avec USABC. Il s'agit notamment de vérifier le potentiel des technologies en ce qui concerne leur puissance et le nombre de cycle en décharge partielle (et non plus l'énergie sur des cycles profonds comme c'est le cas pour un VE).

ii. La phase de « *downselect* »

Le consortium entra en 1997 dans une phase cruciale de sélection des technologies. Entre autres performances requises, les technologies devaient avoir des performances 30% en dessous ou au-dessus des critères « *Goal 3* ». Il est à noter que la sélection a été menée quasi-exclusivement par les industriels, constructeurs automobiles en tête. Le gouvernement, afin d'éviter toute critique relative à ses anciennes pratiques de sélection *ad hoc* des gagnants et perdants n'a pas souhaité intervenir dans cette étape importante (Chapman, 1998, p. 17). Cette sélection s'est opérée au niveau des véhicules et des composants.

Au niveau du véhicule, deux configurations principales ont été sélectionnées dans un premier temps par les constructeurs automobiles sur la base des progrès effectués sur les batteries et de leurs stratégies propres. Il s'agissait d'un VH parallèle type « *power assist* » doté d'une batterie minimale et d'un moteur à réponse rapide ou réponse lente. La seconde configuration est celle d'un VH dual dans lequel la batterie est mise à contribution de façon un peu plus poussée lors des appels de puissance et notamment lors de court trajet en « tout-électrique »⁸.

Au niveau des composants de stockage d'énergie, les volants d'inertie (problèmes de sécurité) et les supercapacités (mieux adaptées pour les appels de puissance très courts, inférieurs à 20 secondes) ont été écartées au profit des batteries en 1997 (Sutula *et al.*, 1998). Parmi ces dernières, aucune sélection n'a été opérée en 1997 entre les deux technologies de batteries initiales, nickel métal hydrure et lithium-ion, du fait de l'incertitude jugée encore trop forte en 1997. Récemment, le PNGV a même choisi de faire appel à de nouveaux fabricants de batteries développant des technologies de batteries différentes de celles financées jusqu'à présent. En 2000, quatre contrats qualifiés « d'exploratoires », deux sur Ni/MH (dont un sur Ni/MH bipolaire) et deux sur lithium polymère (un sur Li-métal polymère et un sur Li-ion polymère), ont ainsi été alloués.

⁸ Sur les VH type parallèle, la batterie assiste le moteur thermique. Celui-ci peut fonctionner sur une gamme très étroite (*slow response engine*), c'est à dire à régime quasi-constant afin d'augmenter son efficience, et la batterie doit alors répondre seule aux appels de puissance du véhicule. La configuration opposée, dite *power assist*, correspond au cas où le régime du moteur (un *fast response engine*) peut varier sensiblement dans les accélérations ou freinage. La batterie est alors réduite à un rôle mineur (certains appels de puissance, stockage de l'énergie de freinage). La configuration la plus exigeante en énergie pour la batterie est l'option VH dual : celle-ci requiert que le véhicule puisse fonctionner en tout électrique sur une certaine distance, par exemple en ville.

La réévaluation des choix technologiques au sein du PNGV

De façon de plus en plus nette, il apparaît que la cible du PNGV devient une configuration de VH très « thermique », abaissant les ambitions des développements relatifs aux batteries (i). Ceci s'accompagne cependant, sous la pression des évaluateurs et la lenteur des progrès par la mise en place progressive d'une exploration plus profonde (ii).

- i. Les progrès relatifs aux émissions de gaz polluant des moteurs thermiques, notamment les moteurs diesel à injection directe, comparés à la lenteur des progrès des technologies de batteries (particulièrement l'énergie spécifique et les coûts des batteries) ont poussé les partenaires du PNGV à progressivement baisser le taux d'hybridation (part électrique/part thermique) des véhicules ciblés. L'option VH dual a été quasi-abandonnée au bénéfice de l'option VH parallèle type « *power assist* ». La batterie recherchée aujourd'hui officiellement a une capacité de stockage d'énergie de 300 Wh... Elle est donc plus proche, en termes de capacité de stockage d'énergie, d'une batterie pour ordinateur portable (40 Wh environ) que d'une batterie pour VE (40 kWh). Plus que jamais donc au sein du PNGV, « *l'objectif qui guide la conception du VH du PNGV est de garder la batterie aussi petite que possible* » (Ng et al., 1996).
- ii. Si l'exploration menée au sein du PNGV a été très étendue, le consortium a cependant été vivement critiqué pour le peu de profondeur de cette exploration. Les divers évaluateurs indépendants ont ainsi souligné la courte période d'exploration (1994-1997) qui ne pouvait suffire à mettre en œuvre des recherches de long terme. En 1996, Daniel Sperling évoquait l'effet pervers d'un tel processus prématûr de « *downselect* » : « *parce que 1997 se rapproche rapidement et qu'une technologie seulement sera choisie (par chacun des trois constructeurs automobiles), on peut s'attendre à ce que les managers PNGV chez les Trois Grands et au gouvernement fédéral, adverses au risque, privilégient des innovations plus incrémentales que radicales* » (Sperling, 1996). Deux ans plus tard, suite à la phase de *downselect*, le National Research Council a également souligné que « *les observateurs qui s'attendaient à un développement accéléré de concepts à haut risque par le PNGV doivent être déçus* » (NRC, 1998).

Dans un autre rapport, destiné à l'administration Clinton, des évaluateurs indiquaient en 1997 qu'en ce qui concerne le PNGV, la tension entre la conception de technologies utilisables dans le court terme -particulièrement intéressantes pour les constructeurs automobiles- et la recherche de technologies à long terme « *a jusqu'ici été résolue en faveur du court terme* » (Executive Office of the President of the US, 1997, p. 3-23). La date limite de 1997 est de

nouveau tenue pour responsable : « *le projet sur 10 ans n'a eu en fait qu'une phase de recherche sur 4 ans, ce qui a mené à la domination des technologies conventionnelles* » (*ibid.*).

Il semble que les critiques du National Research Council (NRC) aient eu un effet favorable sur les recherches de long terme. Les partenaires du PNGV dans un courrier adressé au NRC ont fait savoir qu'ils reconnaissaient que des innovations, peut-être même des innovations au niveau de l'électrochimie de la cellule, étaient nécessaires afin d'atteindre leurs objectifs (NRC, 1999, p. 3). Ceci s'est traduit en 2000 par une intégration plus forte des laboratoires universitaires et fédéraux dans le consortium au sein d'un nouveau programme de 3 ans, l'Advanced Technology Development (ATD), visant à assister le PNGV dans ces recherches sur les batteries pour VH.

Résolution de l'arbitrage incitation/diffusion au sein du PNGV

Il s'agit ici d'évaluer dans quelle mesure le PNGV a permis, d'une part, d'augmenter l'incitation des acteurs à s'engager dans ce processus d'innovation (*hypothèse d'engagement*, mesurée ici par l'engagement financier) tout en favorisant, d'autre part, les échanges d'information ou la création collective de connaissances (*hypothèse de partage*).

L'engagement financier des participants au sein d'un consortium virtuel

Les montants alloués par le gouvernement fédéral au financement du PNGV s'élèvent entre 250 et 300 millions de dollars par an selon les sources (GAO, 2000 ; Chapman, 1998 ; Sissine, 1996 ; OTA, 1995). Selon le GAO (2000), 1,25 milliards de dollars ont ainsi été alloués par différentes agences et départements fédéraux à des recherches relevant du PNGV.

**Tableau 5. - Répartition des Financements fédéraux accordés au PNGV
par source (millions de dollars)**

	1995	1996	1997	1998	1999
Dept. Of Transportation	5	5.5	12.5	10	10.5
Environment Protection Agency	13	14.9	15	15.6	29
Dept. Of Commerce	63.3	72.5	41.4	30.6	31.1
National Science Foundation	53	53	56	46.6	49.3
Dept. Of Energy	121.2	119.6	121	122.7	134.1
TOTAL	255.5	265.5	245.9	225.5	254

Source: GAO, 2000

Note : Les batteries ont reçu 5% des financements fédéraux soit 48 millions de dollars entre 1995 et 1999.

Il est bien sûr encore plus difficile de connaître les montants consentis par les industriels sur leurs propres budgets. Même le General Accounting Office (GAO) n'a pu se faire communiquer des chiffres précis par les industriels, notamment les constructeurs automobiles.

Ces derniers se sont cependant engagés au début du consortium à dépenser environ 100 millions de dollars par an tant que le gouvernement maintiendrait un effort financier important. Si l'on ajoute diverses autres contributions, des fournisseurs et autres industriels qui assurent 50% des financements de la plupart des contrats qui leur sont alloués, on arrive à un montant proche de 500 millions de dollars par an pour le consortium.

Il ne faut pas oublier que si les financements PNGV paraissent très importants, ils sont à la mesure de l'industrie automobile américaine : en 1996, GM, Ford et Chrysler se classaient respectivement au premier, second et onzième rang des entreprises américaines classées par leurs dépenses en R&D (NSF, 1996). Les dépenses de recherche des Trois Grands réunis (17.8 milliards de dollars en 1996) sont supérieures à celle de la NASA, du DOE et de la National Science Foundation réunis⁹. En 1998, les Trois Grands estimaient qu'ils avaient dépensé 5% de leurs budgets de recherche pour des projets dont l'objectif était cohérent avec ceux du PNGV.

De plus, autre facteur incitant à relativiser ces chiffres, ces budgets ne correspondent qu'à une réallocation de financements existants alloués aux technologies automobiles avancées. La structure de financement du PNGV répond à une organisation très particulière, conduisant l'Office of Technology Assessment à qualifier le PNGV de « *programme virtuel* » (OTA, 1995, p. 230). En effet, le PNGV n'a pas véritablement augmenté les dépenses de R&D dans le domaine mais a regroupé et coordonné des dépenses pré-existantes qualifiées de pertinentes quant à l'objectif poursuivi par le PNGV. La raison d'une telle organisation « *sans argent neuf* » était de se prémunir de toute accusation « *d'Etat providence* » de la part du congrès (Chapman, 1998, p. 31)¹⁰. De l'avis même de Ron York, responsable PNGV chez GM, « *il n'y a eu que très peu d'argent neuf mis dans le programme. La plus grande partie provient d'une réaffectation des ressources existantes* »¹¹.

Concernant spécifiquement les 100 millions de dollars par an promis par les Trois Grands, on peut lire dans un rapport produit pour le Congrès en 1996 qu'il « *n'y a eu que peu d'indications que les partenaires prévoient d'investir d'importantes ressources dans le [PNGV], au-delà des dépenses qu'ils ont déjà faites ou planifiées* » (Sissine, 1996, p. 15).

Les financements industriels sont d'autant plus difficiles à cerner que leur affectation est très différente de celle privilégiée par le gouvernement. L'essentiel des financements industriels

⁹ Pour comparaison, en France en 2000 Renault et PSA ont dépensé respectivement 2,04 milliards d'Euros et 1,62 milliards d'Euros). Voir : *Le Monde*, 6/11/2001.

¹⁰ Les relations avec le Congrès -qui doit voter le budget du PNGV tous les ans- sont souvent délicates, notamment avec les députés républicains. Le budget, et l'existence même parfois, du PNGV a en effet été régulièrement remis en cause avec plus ou moins de virulence à chaque vote du congrès américain. Des délibérations ultérieures ont, jusqu'en 2002, permis de sauver le programme *in extremis* comme cela a encore été le cas en juin 2000 (Sperling, 2001).

¹¹ *Automotive News*, 07/04/1997.

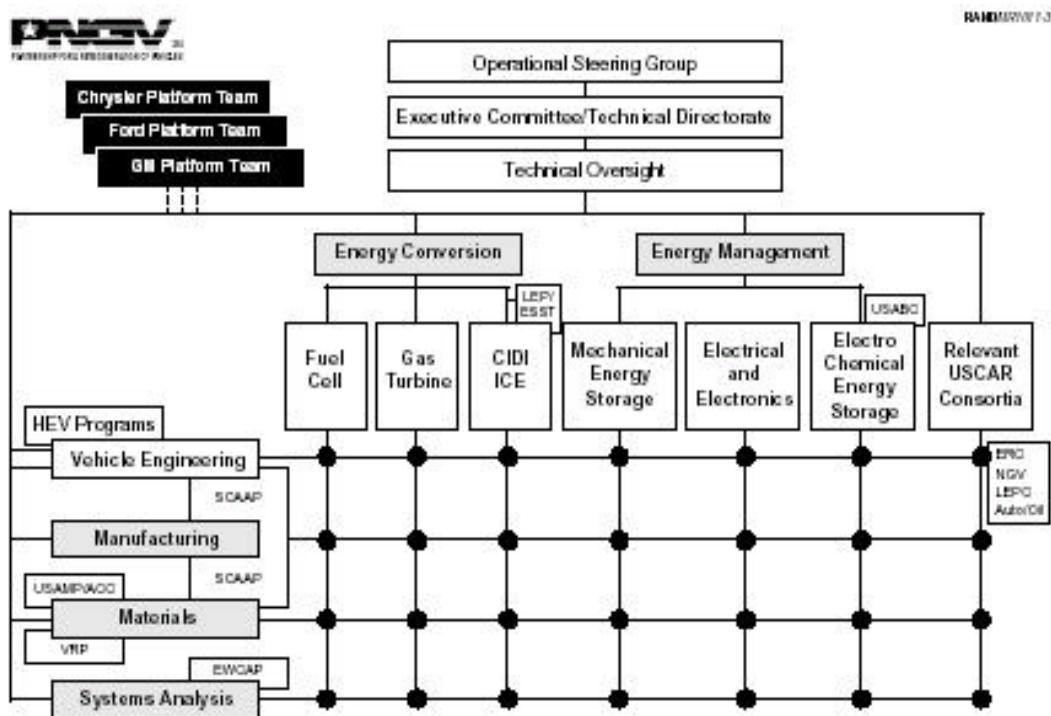
est affecté aux projets de court terme au sein du PNGV (c'est-à-dire au *goal 1* et *goal 2* du consortium) alors que 84% des financements fédéraux sont alloués au *goal 3*. En effet, si les Trois Grands se sont engagés, avec leurs fournisseurs, à financer 50% du budget total du PNGV, l'allocation de leurs fonds entre les trois strates n'a pas été statuée au début du consortium. Les industriels ont profité de cette opportunité et on constate au final que la quasi-totalité des financements industriels concerne des activités correspondantes aux volets 1 et 2, « *argent qu'ils auraient dépensé de toute façon* » (Sperling, 1996).

Concurrence et coopération entre les participants

Les relations entre les partenaires au sein du PNGV mêlent étroitement concurrence et coopération. Ces relations complexes sont inscrites dans les structures organisationnelles du consortium permettant de fixer concrètement les frontières entre concurrence et coopération.

La période d'octobre 1993 au printemps 1994 a été dédiée presque uniquement aux questions organisationnelles relatives à l'étendue de la coopération entre les partenaires. Des voix se sont faites entendre pour qu'une réelle coopération s'instaure entre les Trois Grands. Ainsi que le rappelle le Vice-Président de GM en 1993, A. Mueller, les Trois Grands peuvent construire séparément leur propre « nouvelle génération de véhicules », partager le développement de certains composants (batteries de nouveau, électronique, freins, etc.) ou encore partager le développement du véhicule tout entier¹². Le suspense n'a été que de courte durée, les Trois Grands ayant rapidement décidé de ne coopérer qu'au niveau des composants. Une fois développés, ceux-ci sont intégrés au sein des différents concepts cars de chacun des partenaires en 2000. Ainsi chaque constructeur automobile a élaboré son propre véhicule indépendamment des deux autres. La structure matricielle privilégiée (*cf. graphique 2*) a été spécifiquement conçue pour favoriser les relations verticales et les interactions entre les équipes « composants » et les équipes « process » tout en évitant tout transfert non contrôlé de connaissances jugées confidentielles entre les Trois Grands au niveau des plates-formes véhicule.

12 *Automotive News*, 19/04/1993.

Graphique 2. - Organisation du PNGV avant le *downselect*

Source : National Research Council, 1996

Les déclarations de A. Lovins directeur du Rocky Mountain Institute posent clairement la situation : « *je crois que, pour la Clean Car Initiative [le PNGV], comme pour l'USABC ou toute autre effort collectif en cours, les sujets les plus intéressants ne peuvent être discutés dans de tels forums interentreprises parce qu'ils sont déjà trop confidentiels* » (Cronk, 1995, p. 31).

Un témoignage de Daniel Sperling devant une commission du congrès américain identifie le manque de coopération entre les Trois Grands comme un des problèmes majeurs du PNGV. Ceci se traduit dans les structures organisationnelles du consortium. L'expert informe la commission que chacun des Trois Grands a érigé des cloisons (« *firewall* ») entre les chercheurs et managers alloués au PNGV et ceux qui travaillent sur des projets conduits individuellement en interne. C'est ainsi que GM a maintenu en interne un programme de recherche sur les piles à combustible. Celui-ci est parallèle et complètement indépendant de celui qu'il mène au sein du PNGV¹³. Chaque fois que « *GM (ou un autre constructeur automobile) s'engage sérieusement sur une technologie, il canalisera ses efforts de développement loin du PNGV afin d'assurer la stricte confidentialité* » (Sperling, 1996). On voit ici que l'argument du maintien d'une « capacité

¹³ Le terme employé par D. Sperling est évocateur : « *proprietary in-house shadow fuel cell program* »...

d'absorption interne », c'est à dire d'une compétence minimale en interne permettant de valoriser au sein de chaque entreprise les résultats des recherches collectives, ne permet pas de justifier ces activités parallèles. L'étanchéité des cloisons des « *firewalls* » entre les projets internes des constructeurs et les projets collectifs au sein du PNGV est à sens unique : les progrès des recherches collectives PNGV sont transférés en interne, mais les transferts dans l'autre sens sont loin d'être la règle. Plus généralement, on peut lire à propos du PNGV que le degré de participation des partenaires est inversement proportionnel à la perception que chacun d'eux a de ses avantages technologiques dans chacun des domaines clés du PNGV (Roos *et al.*, 1999).

Au niveau des composants, les échanges sont également très limités entre les différents projets. Il n'y a par exemple aucune relation entre les développements des batteries li-ion de Saft et de Varta. Bien au contraire, les constructeurs automobiles encouragent une logique de concurrence entre les différents fabricants afin de « créer une base saine de fournisseurs de batteries avancées », mais également par les pouvoirs publics. Seules les relations verticales entre constructeurs automobiles et les fabricants ont été améliorées et, surtout, systématisées, permettant ainsi une meilleure comparabilité des diverses performances atteintes et de la fiabilité des entreprises. Les échanges ont été augmentés également dans le domaine du développement des infratechnologies essentielles aux batteries (méthode de simulation et de tests notamment). Non seulement ces méthodes et procédures ont été grandement améliorées par rapport à ce qui existait au début des années 90, mais leur espace de diffusion et d'acceptation s'est vue agrandie, bien au delà des frontières du PNGV. Mais là encore, il s'agit avant tout d'une coopération très délimitée et mise au service d'une « concurrence plus saine ».

La coordination d'un consortium virtuel

Le PNGV n'a pas augmenté les ressources engagées par les participants publics et privés sur les technologies liées à la *supercar* mais a regroupé dans un cadre commun des projets de R&D pré-existants. Privilégiant la mise en concurrence de ces projets, il n'a pas non plus accru la coopération entre ces projets. La justification d'un tel consortium virtuel ne peut donc tenir que dans son éventuelle capacité à coordonner ce portefeuille de projets pré-existants, permettant de mettre en cohérence les plans d'action de nombreuses organisations auparavant indépendantes mais aujourd'hui liée par une certaine « communauté de destin ». Celle-ci provient de leur volonté commune de participer au développement de ce véhicule « super-efficient ». Il convient donc en dernier lieu d'évaluer la coordination des différents projets « labellisés PNGV », avec comme référence i) leur pertinence quant aux objectifs instaurés collectivement par le consortium ; ii) la coordination des activités de développement issus de ces objectifs.

Une telle évaluation du PNGV a été effectuée par le GAO qui a étudié la répartition des financements octroyés par les pouvoirs publics sur ces deux axes (graphique 3).

Catégorie 1 :

Projets *pertinents* pour l'un des trois objectifs PNGV
et *coordonnés collectivement* au sein d'une des équipes techniques du PNGV

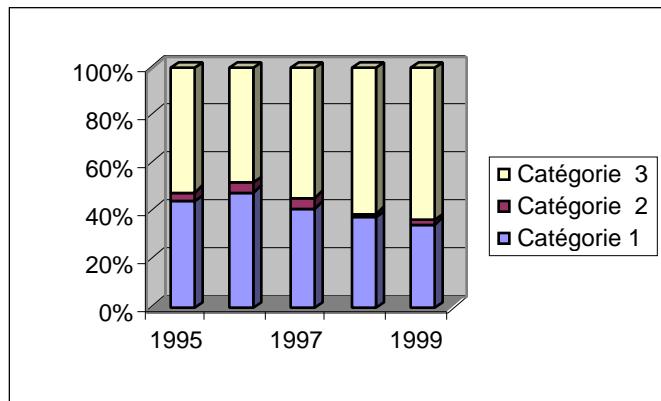
Catégorie 2 :

Projets *pertinents* pour l'un des trois objectifs PNGV
mais *non coordonnés collectivement* au sein d'une des équipes techniques du PNGV

Catégorie 3 :

Projets *non pertinents* pour l'un des trois objectifs PNGV
et *non coordonnés collectivement* au sein d'une des équipes techniques du PNGV

Graphique 3. - La répartition des financements fédéraux selon le degré de coordination et de focalisation vers les objectifs du PNGV, en pourcentage



La coordination au sein du PNGV était donc loin d'être parfaite, la moitié des fonds ayant été allouée à des activités n'ayant pas de rapport avec les objectifs initiaux et n'étant pas coordonnés collectivement dans une des *Technical Teams* du consortium (catégorie 3). Le taux de « capture » du consortium par certains de ces participants au profit d'intérêts n'étant pas ceux du collectif tel qu'il a été constitué et négocié a même sensiblement augmenté entre 1995 et 1999. La part des « véritables » projets PNGV (catégorie 1) tend à se réduire. Ceci peut s'expliquer notamment par le rapprochement de la période de commercialisation des véhicules alternatifs: d'une part, les technologies deviennent plus spécifiques à chaque constructeur automobile (elles s'éloignent donc de leur objectif commun défini en début de consortium) et, d'autre part, entrent dans le domaine concurrentiel (les projets sont donc gérés en interne afin de préserver la confidentialité des stratégies individuelles poursuivies).

CONCLUSION

La création de l'ensemble des consortiums étudiés a été guidée au début des années 90 par la volonté de réaliser une rupture technologique dans le domaine des batteries, celle-ci devant permettre de concevoir un véhicule moins polluant et plus efficient, tout en conservant les performances des véhicules disponibles actuellement.

Bien que des progrès significatifs aient été réalisés, force est de reconnaître aujourd'hui que cette rupture technologique tant attendue n'a pas eu lieu. Les progrès ont été lents et coûteux,

amenant le PNGV mais également l'ensemble des autres consortiums (USABC et LIBES notamment) à diminuer leur prétention concernant le taux d'hybridation des VH. L'objectif est de commencer avec des VH très thermiques et permettre ainsi aux batteries de s'améliorer et de baisser leurs coûts dans l'usage. Ainsi, les projets de recherche sur les VH, au fur et à mesure que leur ambition « électrique » est révisée à la baisse, rejoignent le cours normal de l'innovation incrémentale associée aux véhicules actuels. On perçoit le contraste avec la stratégie de « recherche de la rupture » affichée au début des années 90. Au lieu d'une rupture, c'est bien plutôt à une « dissolution » que l'on assiste aujourd'hui : le véhicule électrique, sujet à tant de recherches il y a dix ans, est devenu véhicule hybride passé le milieu des années quatre-vingt dix, pour aujourd'hui quasiment se confondre avec la prochaine génération de véhicules conventionnels (véhicule thermique avec batteries 42 volts, « Mybrid », etc).

Doit-on pour autant penser que ces consortiums ont été des échecs sur le plan du développement de batteries avancées, reculant les performances-cibles vers les performances réalisées au lieu de faire progresser ces dernières ? Il ne nous semble pas, à la lumière de nos investigations, que la réponse à cette question soit négative. L'absence de rupture technologique, très incertaine par définition, notamment dans le domaine des batteries qui n'a pas connu beaucoup de changements radicaux en plus d'un siècle d'histoire, ne peut être pris comme preuve d'un échec sans autre forme de procès. Comment pour autant peut-on évaluer un consortium tel que le PNGV ? L'incertitude des résultats des programmes aux frontières de la science ne peut servir d'exemption à toute procédure d'évaluation.

A la lumière de l'argumentation développée dans cet article, nous proposons que le critère principal soit celui de la coordination : dans quelle mesure le consortium a-t-il permis de coordonner les efforts de recherche d'une diversité d'organisations publiques et privées, autour d'un objectif commun négocié au préalable ? Dans ces phases d'émergence technologique, la coordination des plans d'acteurs nouvellement interdépendants, bien que souvent futurs concurrents ou encore appartenant à des industries jusque là éloignées, est la véritable raison d'être du consortium, avant même sa capacité à réduire le problème d'un éventuel sous-investissement en recherche.

Nous avons tenté de proposer dans cet article non seulement des bases théoriques permettant d'appuyer une telle démarche d'évaluation axée sur la coordination, au travers des deux concepts d'arbitrages exploration/exploitation et incitation/diffusion, mais également des possibilités d'opérationnalisation et de mesure de ces concepts (notamment au travers de l'étude de la distribution des financements sur les différents type de technologies et d'activités). Si le PNGV est apparu dans ce cadre loin d'être parfait, en particulier pour la dimension relationnelle (incitation/diffusion), il a sans aucun doute permis l'investigation coordonnée d'un vaste ensemble des options technologiques (exploration/exploitation), la fixation de performances-

cibles et de méthodes de tests reconnues internationalement. Ce cas nous a également permis de montrer l'importance de la présence des autorités publiques, dans un rôle qui dépasse de loin celui de détenteur des fonds publics à allouer à des intérêts généraux. Les pouvoirs publics, bien que pluriels et porteurs d'objectifs divers, assument également un rôle d'arbitre essentiel pour atténuer les asymétries de pouvoir (par exemple entre constructeurs automobiles et fournisseurs).

Cependant, cette condition nécessaire à l'efficacité des consortiums peut également être la cause de leur perte lorsqu'ils sont assujettis au pouvoir politique, dont la temporalité est bien moindre que celle de ces programmes à long terme. Ainsi, en Janvier 2002, l'Administration Bush a finalement décidé de dissoudre ce consortium estampillé « démocrate » et de le remplacer par un programme à long terme, le « FreedomCAR » qui se concentre sur les piles à combustible uniquement.

BIBLIOGRAPHIE

Bögel W., Büchel J.P., Hiron C., Katz H., (1995), Utilisation of traction batteries for EV application, Communication à la *Conférence EVT 95*, 13-15 novembre, Paris.

Brandstetter, Lee G.; Sakakibara, Mariko M., (2002), When do research consortia work well and why? Evidence from Japanese panel data, *American Economic Review*, vol. 92, 1, p. 143-159

Cassier M., Foray D., (1999), Connaissance publique, propriété privée et économie des consortia de haute technologie : études de cas dans la recherche bio-médicale, Présentation au *Colloque ADIS Coopération industrielle : diversité et synthèse*, Paris, 3-4 mai.

Chapman R.M., (1998), *The machine that could: PNGV, a government-industry partnership*, MR-1011-DOC, Rand Corporation.

Committee on Science, (1996), *Partnership for a new generation of vehicles: assessment of program goals, activities, and priorities*, House Subcommittee on Energy and Environment, 30 Juillet.

Committee on Science, (2002), The future of DOE's Automotive Research Programs, US House of representatives Hearing Charter, 7 février.

Cronk S.A., (1995), *Building the E-motive industry: essays and conversations about strategies for creating an EV industry*, SAE, Warrendale Pa., 215 p.

Delmas C. et al., (1998), *Matériaux pour le stockage et la transformation électrochimique de l'énergie*, Cahier de synthèse du CNRS.

Executive Office of the President of the United States, (1997), *Report to the President on Federal energy R&D for the challenges of the twenty-first century*, President Committee of advisors on science and technology, Panel of R&D, General Publication Office.

G.A.O, (2000), Result of US industry Partnership to develop a New Generation of Vehicles, Report to Congressional Requesters, GAO/RCED-00-81.

Grindley P., Mowery D.C., Silverman B., (1996), The design of high-technology consortia: lessons from SEMATECH, in Teubal M., Foray D., Justman M., Zuscovitch E., *Technological infrastructure policy, an international perspective*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 173-216.

Ham R.M., Linden G., Appleyard M.M., (1998), The evolving role of semiconductor consortia in the United States and Japan, *California Management Review*, vol. 41, 1, p.137-163.

Jullien B., (1999), Relativiser le statut de la rupture dans la théorie évolutionniste, in Baslé M., Delorme R., Lemoigne J.L., Paulré B., *Approches évolutionnistes de la firme et de l'industrie*, L'Harmattan, Paris, pp. 207-228.

Irwin D.A., Klenow P.J., (1994), High technique R&D subsidies: estimating the effect of Sematech, *Working Paper NBER* n°4974.

Larrue P, (2000), La coordination des activités de recherche et d'innovation dans les phase d'émergence : le cas des batteries pour véhicules électriques et hybrides, *Thèse de doctorat en Sciences Economiques*, Université Montesquieu-Bordeaux IV.

Larrue P., (2002), « La coordination des activités d’innovation dans les consortiums de recherche sur les batteries pour véhicules électriques et hybrides : une analyse comparative Etats-Unis, Europe, Japon », *Rapport ADIT (Agence pour la Diffusion de l’Information Technologique)*, 189 pages - Étude collection : Décisions Technologiques - Réf : DT01_002.

Malerba F., Orsenigo L., (1993), Technological regimes and firm behavior, *Industrial and Corporate Change*, Vol. 2, 1, pp. 45-71.

Malerba F., Orsenigo L., (1995), Schumpeterian patterns of innovation are technology specific, *Research Policy*, 25, pp.451-478.

March J.G., (1991), Exploration and exploitation in organizational learning, *Organization Science*, Vol. 2, 1, pp.71-96

Ng H.K., Anderson J.L., Santini D.J., Vyas A.D., (1996), The prospects for electric and hybrid electric vehicles: second stage results of a two stage Delphi study, *SAE Technical Paper*, ANL/ES/CP-88899.

N.R.C., (1994), (1996), (1997), (1998), (1999), (2000), (2001), *Review of the research program of the PNGV*, National Research Council, National Academy Press, Washington.

N.S.F., (1996), *Science and engineering indicators 1996*, National Science Foundation.

O.T.A., (1995), *Advanced automotive technology: visions of a super-efficient family car*, Office of Technology Assessment OTA-ETI-638, General Printing Office, 300 p.

Pavitt K., (1998), Technologies, Products and organization in the innovating firm: what Adam Smith tells us and Joseph Schumpeter doesn’t, *Industrial and Corporate Change*.

PNGV, (1994), Program Plan, Partnership for a New Generation of Vehicle.

Roos D., Field F., Neely J., (1999), Industry consortia, in Branscomb M.M., Keller J.H., *Investing in innovation: creating a research and innovation policy that works*, The MIT Press, Cambridge, pp. 400-421.

Rosenberg N., (1994), Science-technology-economy interactions, in Granstrand O., *Economics of technology*, Elsevier Science, pp. 323-337.

Sissine F., (1996), The Partnership for a New Generation of Vehicles (PNGV), Report for Congress, Congressional Research Service.

Sperling D., (1996), *Rethinking PNGV*, Hearing on PNGV: assessment of program goals, activities, and priorities, Testimony to US House of Representatives, House Science Committee, Subcommittee on Energy and Environment, Washington.

Sperling D., (2001), Public-private technology R&D partnerships: lessons from US partnership for a new generation of vehicles, *Transport Policy*, 8, pp. 247-256.

Sutula R.A., Heitner K. et al., (2000), Recent accomplishments of the Electric and Hybrid Vehicle Energy Storage R&D Programs at the US DOE : a status report, 17^{ème} EV Symposium, Octobre.

Tripsas M., Shrader S., Sobrero M., (1995), Discouraging opportunistic behavior in collaborative R&D: a new role for government, *Research Policy*, Vol. 24, 3, pp. 367-390.