ECOLE D'ARCHITECTURE



Mémoire STS – Science, Technique et Société Année académique 2003/2004

Quel avenir pour le paradoxe automobile en Suisse?

Un centre technologique à Chamoson (VS) pour promouvoir de nouvelles technologies de propulsion écologiquement propres.

TABLE DES MATIERES

1. Introduction : un état des lieux	p.	2
2. De nouveaux modes de propulsion	p.	4
3. Un paradoxe technologique	p.	12
4. Un paradoxe social et territorial	p.	16
5. Un centre technologique	p.	18
6. De l'utilité du centre technologique	p.	20
7. Conclusions	p.	22
Références	p.	23
Annexes	p.	24

Auteur:

Samuel Tschopp

Direction

Jacques Macquat, chargé de cours

Eduardo Camacho-Hübner, chargé de cours et assistant

1. Introduction : un état des lieux

Ce mémoire s'adresse autant aux passionnés de l'automobile, aux accros de la mobilité individuelle qu'aux défenseurs de l'écologie ou aux urbaniste chargés de planifier des villes et des territoires. L'objectif du présent mémoire n'est ni de noyer le lecteur dans un océan de chiffres purement spéculatifs ni de l'assommer avec des propos chocs mais de le sensibiliser sur une situation encore bien loin d'être résolue sur les paradoxes qui freinent toute réflexion et toute action sur l'avenir de l'automobile en Suisse, sur les plans scientifique, technique et social.

Ce travail reste une critique, parfois acerbe, basée sur une observation de faits sous l'œil d'un architecte qui se veut n'être avant tout qu'un penseur. On cherche à démontrer que la difficile question de l'automobile demeure une affaire complexe impliquant une grande diversité d'acteurs tous responsable sans pour autant jeter la pierre à l'un ou l'autre en particulier. Il sera question ici de développer les grands mécanismes en cercles souvent vicieux qui entravent l'élaboration des multitudes de solutions relatifs à la mobilité au moyen de l'automobile.

Au début du XXe siècle, les premières automobiles ont vu le jour, destinées à quelques riches privilégiés et produites en quelques exemplaires seulement. Chaque voiture est une pièce unique et résulte du travail de plusieurs intervenants : l'ingénieur, qui conçoit l'architecture générale de l'automobile, accouple un moteur, une boîte de vitesse, une direction et des suspensions sur un châssis, le carrossier qui habille l'extérieur de l'automobile et le sellier qui en garnit l'intérieur. Le principe du taylorisme est amélioré par Henri Ford, constructeur d'automobiles à Détroit (USA), en 1903. La voiture devient un bien de consommation accessible à tous, du moins dans les pays industrialisés. La voiture est désormais produite intégralement par le constructeur, en série, d'après des éléments standardisés disponibles chez les sous-traitants.

Au cours du temps, en remplaçant le cheval, elle a acquis, en dépassant son statut de moyen de transport, une dimension symbolique pour ses utilisateurs au point de représenter un véritable prolongement de l'habitat, voir une « pièce » mobile supplémentaire s'ajoutant à la maison ou à l'appartement. Aux Etats-Unis d'Amérique, les voleurs de voitures sont traités presque comme des criminels au même titre que les voleurs de chevaux d'antan. La mode récente du tuning (art de personnaliser son automobile apparue en Allemagne dans les années quatre-vingt) montre combien certaines extrémistes passionnés sont attachées à leur voiture, non seulement pour son utilité mais aussi pour ses qualités esthétiques et l'image sociale qu'elle véhicule.

Le confort a été privilégié pour rendre les trajets plus agréables et un équipement toujours plus complet tend à être monté de série sur les automobiles d'aujourd'hui : vitres, rétroviseurs et sièges électriques et chauffants, direction et freinage assistés, climatisation, radiocassette et CD, porte-goblets, radar de marche arrière, GPS et autres gadgets plus ou moins utiles. Plus récemment, l'équipement relatif à la sécurité a envahi l'automobile : ceintures de sécurité, sièges adaptés aux enfants, airbag frontal et latéral, ABS, ESP, ... La conséquence évidente de ces innovations est un accroissement du poids des véhicules et un accroissement conséquent de leur consommation d'énergie. Si l'équipement relatif à la sécurité devient indispensable, celui relatif au confort reste discutable.

Dans un cliché qui fait sourire mais qui reste authentique, chaque acteur social, compte tenu de son âge, de son sexe et de sa catégorie socioprofessionnelle s'identifie à un type d'automobile. Le jeune moyen appartient aux GTIstes et expérimente sa première sensation de conduite au volant d'un cercueil roulant bon marché. Le PDG voyage à bord d'une limousine surdimensionnée tant au niveau de sa taille que de son moteur. La mère de famille amène ses enfants à l'école et fait ses courses en SUV (suburban véhicle ou 4x4 tout confort) ou avec un monospace pour se sentir sécurisée. Le baba cool opte pour une Citroën 2CV ou une VW coccinelle, dont les symboles socialistes ne sont plus à prouver.

L'homme a conféré à l'automobile un statu sportif dès son apparition avec des épreuves de vitesse et d'endurance qui visaient à tester aussi bien l'habilité des pilotes que la fiabilité de leurs machines. Cependant des dérives d'une imbécillité sans égale comme les courses de vitesse en dragster ou des concours de dérapages apparaissent dans le pays de la démesure, les Etats-Unis, puis par extension, en Europe et au Japon, qui suivent sans esprit critique le mauvais exemple du pays de la médiocrité qui se complait dans une éloge à la surconsommation, au gaspillage et à la pollution qui s'en suit. Les Etats-Unis, avec un parc automobile de 210 millions de véhicules, est responsable pour un tiers de la pollution mondiale due aux gaz à effets de serre, dont le CO2. Le parc automobile mondial compte 600 millions de véhicules et d'ici 2060, il pourrait atteindre 2 milliards de véhicules si la tendance actuelle se poursuit (2,5 % de croissance annuelle du nombre de voitures en circulation). Cependant cette évolution tendancielle ne se produira certainement pas puisque notre civilisation aura probablement implosé bien avant.

L'automobile, en un siècle, a réussi à modifier considérablement l'aspect du territoire et des villes. De grands ouvrages d'art, autrefois réservés aux caravanes tirées par les chevaux puis au chemin de fer, ont vu le jour pour le trafic routier : tunnels, ponts, autoroutes, périphériques,... A Hudson au Texas, la ville entière est dédiée à l'automobile. Toute la vie sociale est réglée par son utilisation si bien que ses habitants ne quittent plus leur voiture climatisée. Un arsenal de dispositifs ad hoc vient parfaire l'équipement destiné à servir l'automobile dans toute sa souveraineté : cinéma drive-in, guichet de banque accessible depuis la voiture, fast-food drive-in, etc. Les problèmes urbains s'aggravent d'année en année : étalement urbain, congestion des centres, mouvements pendulaires, problèmes de parcage et pollution de toutes sortes, directes ou indirectes. La santé des habitants des villes est aussi menacée, d'une part à cause des accidents de la route mais aussi à cause des corollaires liés à une utilisation trop importante de l'automobile : cancers des poumons dus aux fines poussières émises par les moteurs diesel ou encore obésité croissante associée au risque d'infarctus due au manque de mouvement.

Ces constatations montrent que l'automobile pose actuellement un problème sous plusieurs angles : au niveau technique d'une part, car la voiture pollue et au niveau territorial d'autre part, car le nombre des voitures modifie le territoire. On pressent d'ores et déjà que les problèmes techniques et territoriaux qu'engendrent l'automobile sont interdépendants, complexes dans leurs relations, paradoxaux et s'avèrent caractérisés par des liens de cause à effet qui se confondent dans un cercle vicieux. Les automobiles sont là et ceci est un fait. Leur éradication, souhaitée par les écologistes, est actuellement impossible puisqu'un retour en arrière reste difficile car notre société ne peut probablement pas se passer si aisément de ce type de mobilité individuelle. De plus, l'automobile reste une vache à lait dont l'Etat se nourrit et son marché reste florissant malgré la pénurie annoncée de pétrole et un seuil alarmant de pollution déjà largement dépassé.

2. De nouveaux modes de propulsion

A ce jour, la principale énergie réservée à la propulsion de véhicule reste les dérivés du pétrole dont l'essence et le gasoil. Ces deux produits sont des mélanges d'hydrocarbures issus du pétrole, qui est le résultat d'une décomposition de composés organiques, végétaux pour la plupart, dans des conditions de température et de pression bien définies et échelonnées dans le temps sur plusieurs millions d'années. L'or noir est un hydrocarbure dont la composition chimique est due à un agencement ordonné d'atomes de carbone et d'hydrogène de taille et de forme différents. Les produits dérivés du pétrole sont très variés, allant du bitume, pour le plus lourd, au butane, gaz très léger. L'essence est obtenue à partir d'un savant mélange de différents produits dérivés du pétrole.

Notre mode de vie et principalement la mobilité sont directement influencés par notre dépendance envers ce produit dont les compagnies pétrolières détiennent le monopole. La disparition programmée de cette ressource due à son exploitation abusive jusqu'à épuisement totale des gisements, conjuguée à des pollutions de toutes sortes, influençant le climat mondial et dues à une libération dans le temps de quantités excessives de carbone, nous conduisent aujourd'hui à nous affranchir de l'or noir, en réduisant notre consommation puis en développant de nouvelles énergies. Pour ne pas répéter les erreurs du passé en terme de pollution, il est impératif de concevoir une utilisation d'énergies propres dans la totalité de leur cycle, du puits à la roue, en ce qui concerne les transports en particulier.

Il existe actuellement des véhicules à très faible consommation de carburant (moins de 3I/100km) et des véhicules hybrides fonctionnant soit avec de l'essence soit d'une manière électrique. Des moteurs thermiques fonctionnant grâce à des biocarburants comme le biogaz ou encore de l'éthanol ont été utilisés jusqu'en 1950 mais le coût de production de ces énergies a été évincé par le pétrole. Actuellement, ces énergies reviennent en force comme alternative à l'or noir mais demeurent onéreuses, marginales et si elles produisent moins de CO2 et moins de gaz à effet de serre (15 à 70 %) que les dérivés du pétrole, elles demeurent encore bien polluantes. Ces véhicules de transition technologique indiquent la voie à suivre vers une économie d'énergie mais le véritable objectif à poursuivre reste l'affranchissement total en matière de pétrole et une réduction significative et viable à très long terme des émission polluantes quelle qu'elles soient. Néanmoins, ces véhicules ont permis des étapes transitoires nécessaires et le développement de nouvelles technologies utiles aux véhicules de demain comme les systèmes de récupération de l'énergie cinétique en décélération pour recharger les batteries du deuxième système de propulsion à caractère propre. En Europe, les biocarburants représentent 0,5 % des carburants utilisés pour les transports et les principaux producteurs sont l'Allemagne, la France et l'Espagne.

L'éthanol est le biocarburant le plus répandu dans le monde. Cet alcool liquide est obtenu par fermentation de sucre (cannes à sucre et betteraves sucrières) ou d'amidon (blé, maïs) après hydrolyse. L'éthanol, qui ne convient pas aux moteurs diesel, peu être directement employé dans un moteur à essence sans grandes modifications ou dilué dans l'essence à raison de 10 à 25 % (surtout au Brésil et aux Etats-Unis) ou à 5 % au maximum en Europe. En France, cet alcool est transformé en ETBE (Ethyl tertio butyl éther) avant d'être intégré à l'essence à raison de 15 % car il est mieux toléré par les moteurs car le mélange d'éthanol pur et d'essence tolère mal la présence d'eau (dans les cuves). Dans une dizaine d'années au maximum, on produira aisément de l'éthanol à

partir d'une filière lignocellulosique de la biomasse comme les tiges de maïs, la paille de céréales, des résidus de bois, des déchets organiques ou des boues de stations d'épurations. La solution de substitution de l'essence par l'éthanol reste, à court terme, une des solutions les plus prometteuse pour réduire significativement les gaz à effet de serre.

Les biocarburants convenant aux moteurs diesels sont fabriqués au moyen d'huiles végétales de tournesol ou de colza en Europe et de soja aux Etats-Unis. Ces huiles doivent impérativement être mélangées avec du méthanol pour pouvoir servir de carburant aux moteurs diesel. Le mélange, qui reste moins catastrophique pour l'effet de serre, est connu sous le nom d'ester méthylique d'huile végétale (EMVH) et il reste commercialisé en France sous l'appellation de « diester ». Certaine compagnies qui commercialisent les carburants mélangent l'EMVH à raison de 5 % directement avec le diesel, cependant pour réduire considérablement l'impact environnemental du carburant, il faudrait un mélange contenant au moins 30 % d'EMVH. Les principaux problèmes rencontrés dans la culture de colza pour fabriquer des huiles pour moteur restent un faible rendement à l'hectare de ces cultures, une demande toujours croissante pour les véhicules diesel par rapport aux véhicules essence et un co-produit, la glycérine (utilisée dans l'industrie cosmétique, pharmaceutique), difficile à écouler sur un marché déjà saturé.

En combinant les deux technique de biocarburants, on obtient un ester éthylique d'huile végétale (EEHV), en substituant le méthanol par de l'éthanol. Ce nouveau carburant se déclare 100 % biologique et bien toléré des moteurs, cependant le mélange reste trop coûteux puisque l'éthanol de production agricole reste trois fois plus onéreux que le méthanol.

D'autres études sont réalisées pour obtenir des carburants de synthèse de haute qualité en transformant la biomasse (déchets organiques, résidus céréalier, forestiers et boues d'épuration) en gaz, lequel serait à son tour transformé en gazole.

Les nouveaux modes de propulsion se comparent au niveau de leurs rejets ou émissions, du stockage de l'énergie, du poids des batteries, de la recharge du système, de la disponibilité de l'énergie, de son captage et son transport et enfin de la sécurité de l'emploi de cette énergie. Seule une prise en compte de la totalité du cycle de fonctionnement de ces nouveaux procédés de substitution permet une évaluation correcte : de la production de l'énergie de base à l'élimination des déchets en passant par les composantes du système, leurs matériaux et les énergies secondaires nécessaires à leur production.

Les véhicules entraînés par moteur à air comprimé :

Un ingénieur français, Guy Nègre, ayant travaillé dans la Formule 1 s'est aperçu qu'on faisait démarrer les moteurs des formules récalcitrants en injectant de l'air comprimé dans les cylindres. Il a étendu le processus, non seulement pour le démarrage des véhicules, mais aussi pour maintenir une vitesse de croisière. En sept ans de travail et avec une équipe de vingt personnes, il dépose une vingtaine de brevets.

Le moteur à air comprimé fonctionne selon un cycle thermodynamique différent des moteurs à combustion actuels de 4 temps (admission, compression, explosion et détente, échappement) ou 2 temps (admission, échappement). Il nécessite 5 temps (aspiration, compression, injection d'air comprimé additionnel, expansion, détente, échappement) et trois chambres séparées (deux chambres cylindriques d'aspiration et d'expansion et une

chambre sphérique de compression connectée à deux réserves d'air comprimé de 300 litres à 300 bars de pression par un injecteur d'air électronique.

Le cycle du moteur à air comprimé fait interagir les trois chambres : le premier cylindre aspire l'air extérieur à travers un filtre et l'envoie dans la chambre de compression. Au même instant, un jet d'air comprimé provenant des réservoirs sous pression est introduit dans la chambre de compression et aussitôt relâché dans le cylindre d'expansion, l'air pousse le deuxième piston qui actionne la roue du moteur et le cycle continue.

Le moteur utilise un mélange d'air ambiant capté et filtré et d'air comprimé disponible dans les bombonnes sous pression. L'autonomie du véhicule en cycle urbain est de 10 heures. Le réapprovisionnement s'effectue dans une station service aménagée à cet usage, en trois minutes comme un carburant traditionnel. Il est également possible de comprimer l'air soi-même dans les réservoirs Liner thermoplastiques à enroulement filamentaire en fibre de carbone au moyen d'un compresseur électrique à brancher sur le secteur 220 Volts mais l'opération nécessite quatre heures.

Le moteur, d'une masse de 35 kg, d'une cylindrée de 566 cm³ dispose d'une puissance de 25 chevaux à 3'500 tours/minute pour un couple de 61,7 Nm de 800 à 3'000 tours/minute et permet une vitesse de pointe de 110 km/h. Son autonomie en cycle urbain, à 60 km/h, lui permet de franchir 240 km, soit bien plus qu'un véhicule actuel qui se déplace quotidiennement en moyenne sur 43 km. Ce véhicule est intéressant pour les trajets en ville, employé comme un taxi ou comme une voiture de livraison (jusqu'à 450 kg de charge utile) ou pour emmener les enfants à l'école, faire des courses ou simplement aller travailler. Trois version du véhicule sont disponible à la vente, homologués et déjà commercialisés : un taxi, une voiture de livraison et un pick-up. La ville de Mexico vient de signer un contrat pour l'acquisition de cinq unités de production afin d'équiper sa cité de 40'000 taxis et véhicules de livraison. Quinze autres usines ont été vendues dans le monde notamment en Espagne, en Australie et en Afrique du Sud. L'équipe de Guy Nègre entend mettre au point une usine modèle, de petite taille (employant 100 personnes au maximum) et à caractère urbain. Une telle automobile coûte 10'000 Euros et un plein coûte entre 1,52 et 7,62 Euros.

L'automobile à air comprimé demeure économique et son entretien reste simple à cause d'une température de fonctionnement du moteur modérée. Une vidange tous les 50'000 km suffit et elle s'effectue avec de l'huile alimentaire dont le recyclage pose moins de problèmes qu'une huile synthétique dérivée du pétrole. De plus, l'utilisation d'un tel véhicule reste sans danger d'explosion en cas de collision puisque ses réservoirs comportent une structure alvéolaire qui absorbe les chocs. Le véhicule est très léger, avec une masse de 700 kg, ce qui lui permet d'économiser la matière et l'usure des pièces mécaniques. La voiture possède en outre un système de récupération de l'énergie cinétique de décélération et de freinage, qui recharge les réservoirs d'air sous pression à chaque freinage. Un système de récupération de l'énergie thermique sur l'air ambiant permet à cette étonnante conception de produire de l'air climatisé sans frais supplémentaires, un avantage certain pour de nombreux pays au climat particulièrement chaud en été ou à l'année.

La voiture peut fonctionner entièrement grâce à l'air comprimé mais des variantes hybrides, hélas moins radicales dans leur concept, sont aussi possibles puisque le même moteur peut fonctionner avec du carburant traditionnel (essence, gaz naturel ou diesel) pour les trajets à travers la campagne à une plus vive allure. Dans ce cas, à partir d'une vitesse dépassant les 60 km/h, un système électronique s'occupe de faire passer

automatiquement la gestion moteur en mode « carburant traditionnel ». Le principal inconvénient de cette machine reste la fréquente recharge de ses réservoirs sous pression.

Les véhicules entraînés par moteur électrique :

Les premiers essais de véhicules électriques datent des années 1880 et leur énumération ne serait d'aucune utilité dans le présent mémoire. De nombreux chercheurs ont tenté d'appliquer cette technologie à des véhicules de l'époque comme le premier tricycle électrique du physicien Gustave Trouvé ou la première voiture électrique de Jules Raffard. Exactement comme en architecture, avant de trouver sa forme propre, la nouvelle technologie imite son ancêtre, ainsi la première poutre en fibre de carbone avait la forme empruntée à un profilé métallique du genre IPE en acier, avant de trouver son propre optimum formel. La première course d'engins motorisés en Amérique qui date de 1896 présentait sept véhicules dont deux machines électriques qui raflèrent la première et deuxième place. Un combat sans merci s'est livré au début du vingtième siècle entre les moteurs électriques et les moteurs à combustion. Les fervents de ces derniers reprochaient aux moteurs électriques d'être dangereux pour les piétons à cause de leur caractère bien silencieux. Dès 1895, on commercialisa l'accumulateur au plomb pour permettre la recharge des batteries. Mais l'attrait pour de tels engins sombra tout à coup et ne refit surface qu'en 1960, avec une apogée en 1973, lors du premier choc pétrolier. Il s'en suivit un second déclin dans les années quatre-vingt, après que le marché pétrolier se soit rétablit, et enfin un regain d'intérêt au début des années quatre-vingt dix.

Les batteries sont la principale préoccupation des ingénieurs qui s'attaquent à la technologie des moteurs électriques embarqués dans des véhicules. Les recherches d'aujourd'hui tentent essentiellement de réduire le poids de ces batteries et d'en augmenter le rendement pour accroître l'autonomie des véhicules qu'elles propulsent. Si les premières batteries au plomb n'affichaient qu'une énergie massique de 30 Wh/kg (de quoi parcourir à peine 50 km), les nouvelles générations de batteries se basent sur des matériaux plus performants comme le nickel-cadmium, entièrement recyclable et dont l'énergie massique avoisine les 55 Wh/kg, ce qui permet de propulser des véhicules légers à près de 100 km/h sur une distance de 100 km. Les ingénieurs orientent leurs recherches sur des matériaux comme le nickel-métalhydrure ou plus prometteur encore, sur le lithiumion, dont l'énergie massique est deux fois plus grande et qui permettrait une autonomie dans des conditions similaires de 200 km.

Le moteur électrique, qu'il soit à courant alternatif ou continu, pour moteur synchrone ou asynchrone, à aimants permanents ou bobiné, nécessite une importante gestion électronique, outre les choix relatifs à la puissance massique du moteur ou à sa complexité, pour gérer le débit d'énergie entre la batterie et le moteur et conduire l'information en fonction des ordres du conducteur. Le couple délivré par ce genre de moteur, de 127 à 275 Nm va de l'honnête à l'excellence et correspond à celui d'une automobile dont le moteur est à combustion d'une cylindrée de 1400 cm³ et d'une soixantaine de chevaux à un six cylindres de trois litres. De plus il est disponible à très bas régime et convient à merveille à une utilisation quotidienne. Un tel couple signifie que ces voitures peuvent se passer de boîte à vitesse.

La recharge des batteries pour une autonomie de 100 km coûte environ 2 Euros. La durée de vie des voitures électriques est de 10 ans, presque sans aucun entretien périodique. La Citroën Saxo version électrique de 1996, d'une puissance maximum de 20 kW de 1'500 à

5'500 tr/min et d'un couple de 127 Nm de 0 à 1'600 tr/min autorise une vitesse maximum de 91 km/h et une autonomie de 80 km. La Renault Clio ou la Peugeot 106 au Nickel Cadmium dans leur version électrique offrent les mêmes performances que leur homologue français. La Honda EV Plus propose une solution de location clé en main pour 490.- CHF/mois pour une durée de 36 mois. Cette automobile est de loin la voiture électrique de série la plus aboutie. Ses batteries au nickel/hydrure de métal (NiMH) lui confèrent des performances bien supérieures à ses consoeurs européennes avec un couple phénoménal de 275 Nm à 1'700 tr/min., une performance comparable à un moteur six cylindres de trois litres de cylindrée! Sa puissance de 67 chevaux est disponible à 1'700 tr/min et demeure constante jusqu'à 8'750 tr/min.

Le principal inconvénient des voitures électriques reste de grandes et lourdes batteries pour stocker l'énergie et donc un poids élevé en ordre de fonctionnement, une marche silencieuse (au-delà de 60 km/h, le bruit de roulement l'emporte sur le bruit du véhicule et peu importe la sonorité de son moteur) au point de constituer un danger pour les piétons et les autres véhicules ainsi qu'une prolifération de nuisances dues aux ondes des points de recharge enterrées. Des solutions hybrides sont très fréquemment proposées avec des véhicules électriques pour résoudre les problèmes de faible autonomie. Même si la symbiose avec des moteurs à faible consommation de carburant à base d'énergie fossile non renouvelable paraît satisfaisante, il convient d'orienter les recherches sur l'énergie électrique seule pour parfaire la technologie. Pourquoi ne pas associer en mode hybride diverses technologies propres comme l'air comprimé, l'électrique, le solaire ou l'hydrogène? La voiture électrique ne peut être propre que si l'électricité dont elle se nourrit est elle aussi propre, autrement dit produite dans des conditions non polluantes, par exemple à l'aide de cellules photovoltaïques ou par la force du vent ou encore par l'énergie hydraulique.

Les véhicules entraînés par dispositif à énergie solaire :

Chaque jour le soleil déverse sur Terre une quantité d'énergie gratuite équivalente à quelque 100 000 milliard de TEP (Tonnes Equivalent Pétrole). En 1998, l'entier de la population terrestre n'utilisait, à titre comparatif, que 10 milliards de TEP. Des systèmes de captage de l'énergie solaire sont déjà utilisés dans la construction pour préchauffer de l'eau circulant dans des tubes ou dans des panneaux disposés en toiture des immeubles. Les panneaux photovoltaïques (à ne pas confondre avec des panneaux solaires) représentent une autre manière de capter l'énergie solaire pour la transformer en courant électriques (lequel ne devrait pas servir bêtement à chauffer de l'eau puisque celle-ci peut être directement chauffée par le soleil à moindre frais en circulant dans des panneaux solaires).

Les premières recherches qui aboutiront à un produit utile, la cellule photovoltaïque (PV), débutent en 1954 à l'époque où les physiciens des programmes aérospatiaux américains recherchent un moyen d'alimenter leurs satellites artificiels pour les rendre autonomes. Les premiers satellites alimentés de cellules photovoltaïques ou photopiles sont envoyés à la conquête de l'espace en 1959 et le rendement de leurs cellules est de 9 %. En 1973, à l'Université de Delaware, on bâti la première maison équipés de cellules photovoltaïques et il faut attendre 1983 pour que son application atteigne le monde des prototypes automobile.

On utilise actuellement des cellules PV au silicium qui jouent avec l'agitation des électrons sous un bombardement de photons issus du rayonnement solaire. Cette agitation produit

un échauffement qui est une conversion de l'énergie cinétique en énergie thermique. L'effet photovoltaïque est obtenu à partir d'une partie de l'énergie cinétique des photons qui se transforme en énergie électrique et non pas en énergie thermique. « Photos » vient du grec qui signifie lumière et « voltaïque » dérive du physicien italien Alessandro Volta et désigne ici l'électricité. La photopile produit un courant continu sans aucune pièce mobile. Sa composition nécessite des semi-conducteurs (situation électrique intermédiaire entre un isolant et un conducteur) et en particulier le silicium qui représente 28 % de l'écorce terrestre sous forme de sable siliceux, ce qui fait de lui un matériau très abondant sur notre planète. Isotrope, stable et non toxique, il est obtenu en lingots par purification par exemple par centrifugation en fusion sous vide.

Les cellules photovoltaïques se présentent comme une succession de couches très minces dont chacune possède un rôle bien défini. Le rendement réellement disponible des cellules PV, hors modèle théorique et hors laboratoire, varie selon leur type, leur mode d'utilisation et leur angle d'exposition au soleil, de 6 à 20 %.

Les véhicules dont le moteur fonctionne grâce à l'énergie solaire sont un cas particulier de véhicules électriques puisqu'ils fabriquent eux-mêmes leur propre énergie à partir du rayonnement solaire. Ils sont encore actuellement presque intégralement des prototypes qui se ressemblent par leur forme. Parmi tous les véhicules non polluants, ils demeurent d'une utilisation très marginale et on ne les retrouve que dans des compétitions entre hautes écoles d'ingénieurs. Leur utilisation au quotidien s'avère à ce jour très difficile à cause de leur grande taille due à l'immense surface de captage de l'énergie solaire recouverte de cellules photovoltaïques comparable à celles que l'on retrouve sur les satellites artificiels. Ces cellules recouvrent une surface très aérodynamique pour offrir le moins de résistance à l'air possible, exactement comme une aile d'avion, et sont capables de transformer les rayons du soleil en électricité. Ces engins, d'à peine quelque 200 kg, sont les plus légers de la catégorie des véhicules non polluants à trois ou quatre roues. Leur forme ne se contente pas d'imiter ses ancêtres à combustion mais les ingénieurs leur ont développé des formes ad hoc, adaptées à leur fonctionnement révolutionnaire. Dans ce sens, ils satisfont une règle de l'évolution qui dicte une nouvelle forme adaptée à un nouveau mode de fonctionnement. Ils sont aussi ceux qui peuvent transporter le moins de charge utile et n'admettent en général que le pilote. Ils ne peuvent fonctionner qu'en présence de rayons de soleil, ce qui empêche toute utilisation au quotidien dans les villes peu ensoleillées, par temps de brume ou en hivers. Cependant, ils restent gorgés de haute technologie, extrêmement coûteuse, ce qui rend leur prix vraiment dissuasif pour une utilisation journalière. Ces laboratoires ambulants sont fragiles et n'existent pour l'instant que pour pulvériser des records de vitesse et d'endurance. Le simple fait de se glisser à bord sans frôler les cellules PV tient déjà de l'exploit, mais heureusement lors des compétitions, on glisse le pilote dans la machine avant de la revêtir de son toit recouvert des fameuses cellules.

Nuna 2 est un exemple de voiture solaire. Il s'agit de la championne du monde du Word Solar Challenge 2003 qui a eu lieu tous les deux ans sur les 3'000 km qui séparent Darwin d'Adélaïde à travers le désert d'Australie, pays naturellement choisi pour ses excellentes conditions d'ensoleillement. Ses dimensions sont peu communes : 5 mètres de long par 1,8 mètre de large pour une hauteur d'à peine 80 centimètres. Ce véhicule est en réalité une grande toiture recouverte de cellules photovoltaïques comme celle qui tapissent les appendices des satellites géostationnaires artificiels. De cette grande surface émerge un cockpit qui permet au pilote, unique passager couché sur le dos pour réduire la hauteur de caisse, d'apercevoir la route. Sous cette cloche, la température peut monter à plus de 50°C mais des arrivées d'air frais permettent au téméraire de survivre, du moins lorsque le

véhicule avance. La machine se conduit au moyen de deux leviers placés de part et d'autre du pilote et grâce à deux pédales. L'engin répartit sa masse de 250 kg sur trois roues dont deux roues directrices placées à l'avant. Sa vitesse maximale atteint les 170 km/h, ce qui est énorme si l'on considère qu'elle possède autant d'énergie qu'un sèchecheveux. Le véhicule stocke une partie de l'énergie solaire dans une batterie pour lui permettre d'avancer de nuit ou par temps couvert.

D'autres engins solaires comme Eclipse, développé par l'Ecole de Technologie Supérieure du Québec, Dream de Honda et bien d'autres encore ressemblent à Nuna 2 par leur forme caractéristique en aile d'avion recouverte de cellules photovoltaïques d'où émerge en son centre un cockpit.

Les véhicules entraînés par moteur à hydrogène (pile à combustible) :

Dans le courant du XIXe siècle, Jules Verne s'exprimait en ces termes à travers Cyrus Smith, héros du roman *L'Île mystérieuse*: « Je crois que l'eau sera un jour employée comme combustible, que l'hydrogène et l'oxygène qui la constituent [...] fourniront une source de chaleur et de lumière inépuisables... » Le principe de la pile à combustible a été découvert en 1839 mais il faut attendre 1953 pour que les projets de recherche spatiale le développent.

L'hydrogène, matière la plus abondante sur Terre, est une source d'énergie disponible sous forme gazeuse qui reste encore coûteuse à capter aujourd'hui. Cette énergie constitue un potentiel de disponibilité exceptionnel et demeure porteuse de tous les espoirs pour l'avenir, c'est pourquoi elle devient peu à peu le centre d'intérêt des gouvernements et des constructeurs automobiles comme Renault, allié avec Nissan, Peugeot (H2O), Daimler-Chrysler (série Necar), Ford, General Motors, Toyota ou Honda, tous désireux de s'affranchir tôt ou tard de la dépendance énergétique à l'égard du Moyen-Orient. Il existe actuellement plusieurs dizaines de types de véhicules de différentes marques fonctionnant à l'hydrogène et d'autre véhicule devraient être produits en série d'ici 2008. L'utilisation de l'hydrogène ne produit aucun gaz à effet de serre et ne pollue (presque) pas car il ne dégage que de l'eau.

La pile à combustible produit, à partir de l'hydrogène, l'électricité qui permet de faire fonctionner le moteur d'une automobile. Il s'agit donc d'un autre cas particulier de véhicule fonctionnant grâce à l'électricité. Cette méthode reste moins polluante et son rendement est meilleur qu'avec un moteur à combustion, cependant cette énergie demeure encore trop chère à produire : le kilowatt produit par une pile à combustible coûte 20'000 Euros, contre 50 Euros pour une voiture ordinaire. De plus son encombrement et sa masse devraient encore être divisés par cinq pour être intégrés au monde automobile. Le rendement d'un moteur électrique est d'environ 0,8 à 0,9 kWh d'énergie mécanique à la sortie du moteur pour 1 kWh d'électricité, alors que pour un moteur thermique, pour 1 kWh de carburant, on obtient 0,3 à 0,4 kWh d'énergie mécanique à la sortie du moteur et le reste demeure de la chaleur perdue.

Le problème de la production d'hydrogène (H) réside dans le fait que malgré son abondance sur Terre, il n'existe pas à l'état brut et se trouve presque systématiquement associé avec d'autres atomes, par exemple avec de l'oxygène (O) pour former une molécule d'eau (H2O), ou avec du carbone pour former du gaz naturel. Or pour séparer l'hydrogène de l'oxygène présent dans l'eau, il faut une énorme quantité d'énergie électrique. Et comme à part en France, en Suisse et en Suède, les centrales électriques

fonctionnent pour la plupart au charbon ou avec un dérivé de l'industrie du pétrole, les émissions de CO2 seront plus importantes pour produire de l'hydrogène que celles produites par des automobiles à essence! La situation semble prendre le chemin d'une impasse technologique, à moins de revoir l'ensemble de la production électrique mondiale pour produire de l'électricité propre, ce qui reste quasiment une mission impossible.

Cependant, pour la Suisse, la France et la Suède, l'alternative de l'hydrogène reste une solution envisageable puisque leurs centrales électriques sont propres. Mais attention, si on projette d'équiper le parc automobile entier d'un de ces trois pays, il faudrait doubler la production d'électricité et donc recourir à l'énergie nucléaire pour éviter le charbon ou le pétrole et dans un souci général de développement durable, les déchets nucléaires restent encore un problème quant à leur élimination et leur recyclage. En recourant à l'énergie solaire, éolienne, hydraulique ou à la biomasse, on peut se passer de l'énergie nucléaire ou lui offrir un complément en se privant définitivement de l'énergie fossile afin de réaliser l'électrolyse ou la thermolyse de l'eau pour en retirer le précieux hydrogène. Une autre piste poursuivie par les chercheurs est la fabrication de bactéries génétiquement modifiées destinées à isoler l'hydrogène, avec tous les risques que cela comporte pour l'équilibre entre les espèces. Donc, logiquement, le seul moyen de répondre à l'heure actuelle à une massive demande d'hydrogène est de recourir au nucléaire, or les réserves à base de fission d'uranium ne sont disponible que pour un siècle à un siècle et demi dans des conditions d'exploitations actuelles. De plus un accroissement de l'exploitation atomique engendre des déchets radioactifs dangereux dont l'élimination reste problématique. Il est clair que l'hydrogène n'est pas la panacée car son transport et son stockage s'avèrent encore difficiles et coûteux puisqu'il est très peu dense, hautement inflammable (mais peu explosif) et non liquéfiable aux températures ambiantes. Comprimer ce gaz nécessite aussi de l'énergie mais à énergie de compression égale, le méthane fournit trois fois plus d'énergie restituée que l'hydrogène à quantité comprimée égale. L'hydrogène est transporté sous forme gazeuse comprimée dans des bombonnes et dans des pipelines à 350 ou 700 bars de pression ou sous forme liquide à une température proche du zéro absolu, à -253°C. 1'500 km de pipeline équipent déjà l'Europe et 900 km parcourent les Etats-Unis.

Un autre problème menace la généralisation de la pile à combustible comme substitut au moteur thermique actuel : l'emploi massif de platine dont l'Afrique du Sud assure le 70 % de la production mondiale qui représente 166 tonnes en 2001. Actuellement, les piles à combustibles destinées aux automobiles nécessitent 100 grammes de platine par pile mais on peut espérer que les nouvelles générations de piles n'en demanderont pas plus de 30 grammes. La production mondiale de platine permettra de produire 5 millions de voitures par an (déduction faite de l'emploi massif du platine dans les pots catalytiques qui n'auront plus leur raison d'être d'ici-là). Pour substituer le parc automobile actuel de 600 millions de voitures en véhicules à hydrogènes, il faudrait, avec les techniques d'extraction actuelle, environ 120 ans, et cela sans tenir compte de l'accroissement du parc motorisé durant cet intervalle de temps.

Enfin, il demeure difficile de stocker l'hydrogène dans des automobiles et il est tout aussi ardu de créer des points de ravitaillements et de production. En résumé, l'hydrogène n'est pas une formule miracle et ne risque probablement pas de figurer au top des énergies propres à cause de son coût beaucoup trop prohibitif. L'énergie la meilleure marchée utilisable actuellement demeure encore malheureusement les dérivés du pétrole.

3. Un paradoxe technologique

Une série de paradoxes technologiques amènent les schémas de cause à effet à tourner dans un cercle vicieux qui n'aboutit à aucune solution satisfaisante.

Une première constatation réside dans le fait que les énergies fossiles sont rares et limitées et qu'à moyen terme, d'ici 2050, ou pour les plus optimistes, à long terme, d'ici 2080, elles auront disparues complètement de la surface du globe. Face à cette constatation, des ingénieurs ont étudié des solutions de substitution pour garantir l'approvisionnement en nouvelles énergies renouvelables et non ou peu polluantes susceptibles d'être employées pour le fonctionnement d'un moteur en vue de propulser des véhicules individuels ou collectifs. Ces technologies sont en phase de devenir opérationnelles et certaines sont plus prometteuses. Mais le problème réside dans le fait que leur utilisation reste marginale car presque tous les brevets de ces nouvelles technologies ont été rachetés par les compagnies pétrolières pour assurer leurs arrières après l'épuisement prédit des énergies fossiles. Le gèle de l'emploi immédiat des brevets assure un écoulement des produits dérivés des hydrocarbures et des entrée d'argent aux compagnies pétrolières. Ces nouvelles technologies sortiront de leur présent état d'hibernation dans les tiroirs de centre d'études pour apparaître lors de l'épuisement final des énergies fossiles afin de garantir un nouveau monopole des compagnies pétrolières sur les nouvelles énergies de propulsion. Il est donc étonnant de constater que l'humanité possède les moyens pour se sortir d'une situation menaçante pour sa propre espèce et par extension pour la planète dont il devrait être responsable mais que des pressions d'ordres financières et politiques empêchent leur mise en œuvre!

Une deuxième constatation réside dans le fait que malgré les avertissements sur l'urgence de l'économie de carburant, les constructeurs automobiles dont Honda, Citroën, Peugeot, Renault et bien d'autres encore continuent à présenter des modèles écologiquement propres uniquement comme des prototypes extravagants pour se donner bonne conscience et redorer leurs blasons.

De plus les constructeurs ne cessent d'alourdir leurs véhicules en les suréquipant de systèmes visant à augmenter le confort des occupants ou leur sécurité, ce qui se traduit par des surconsommations de carburant et d'énergie, quels qu'ils soient. Le poids moyen d'une automobile a presque doublé en quarante ans pour passer de 800 kg à 1600 kg. Cette surcharge pondérale se répercute sur l'ensemble de la voiture et nécessite des systèmes secondaires renforcés comme un châssis plus rigide, des pneus élargis, un système de refroidissement moteur plus gros ou des freins adaptés et par conséquent engendre un gaspillage de matière et une usure proportionnelle.

Cependant ce qui reste totalement inacceptable et fait croire à un bel avenir de l'automobile demeure la prolifération de véhicules dont la consommation est pantagruélique à cause d'un moteur surdimensionné à cause de sa fonction pour propulser des engins d'un poids et d'une dimension colossal, comme les SUV, les monospaces ou les berlines de très grand luxe. De plus ces véhicules nécessitent des renforts au niveau de leur structure et n'économisent ni la matière ni l'énergie qu'il faut pour la mettre en place. L'entier de éléments constituant l'architecture même de la voiture est dimensionné à la hausse comme en témoignent par exemple les jantes de seize pouces qui étaient un luxe il y a seulement vingt ans et qui sont presque devenues une norme aujourd'hui. Ces véhicules sont en outre peu aérodynamiques, ce qui accroît leur

consommation d'énergie et volumineux, ce qui rend leur parcage difficile. Comment expliquer que les constructeurs automobiles, toutes marques et pays confondus, n'ont jamais proposé à ce jour autant de véhicules dont la cylindrée dépasse les cinq litres pour des consommations moyennes atteignant près de 20l/100km? Comment expliquer que Mercedes, BMW, Audi, Lamborghini ou Ferrari proposent toutes des monstres de 12 cylindres de six litres de cylindrée à une époque où l'essence devrait être utilisé avec parcimonie? Comment expliquer un engouement sans précédent pour de tels véhicules, à présent à la portée de (presque) n'importe qui, moyennant un leasing avantageux qui ne coûte mensuellement que 10 % de la valeur du véhicule? Le principe du pollueur payeur permet la vente de tels véhicules sous le prétexte que l'acquéreur paie pour polluer sans conscience. L'acheteur, la demande en quelque sorte, est responsable de cette situation.

Les constructeurs élaborent des stratégies de marketing pour cibler leurs clients : les SUV et les monospaces ont récemment été conçus pour séduire un nouveau public féminin émancipé et financièrement autonome, gagnant très honnêtement sa vie et exigeant une grande sécurité sur la route ; un leurre en réalité puisque ces véhicules sont difficiles à freiner car ils demeurent excessivement lourds et constituent avec leur haute calandre un brise tête extrêmement efficace sur les écoliers. La jeune maman qui achète un tel véhicule pour protéger sa progéniture sera elle-même peut-être l'assassin des enfants des autres!

Ces véhicules possèdent une masse conséquente avoisinant les deux tonnes et une calandre très haute, ce qui aggrave les conséquences d'une éventuelle collision avec des véhicules plus légers, puisque ceux-ci peuvent s'encastrer sous le véhicule et recevoir un choc proportionnel à la masse (et bien sûr à la vitesse) du véhicule percutant. Les SUV et les tout-terrains en particuliers sont dangereux pour les autres usagers de la route puisqu'ils possèdent généralement une plus grande rigidité structurelle et un concept d'éléments déformants peu abouti. L'énergie due aux chocs est absorbée par conséquent par les occupants et non par la tôle, ce qui accroît les risques de lésions graves. Les plus vulnérables restent les piétons, les cyclistes et les motards, qui, s'ils ne sont pas percutés en pleine tête, peuvent rebondir par-dessus le véhicule agresseur.

L'Etat n'autorise pas un mélange plus riche en biocarburants associés à l'essence ou au diesel, sauf dans certains cas particuliers pour des transports publics ou professionnels, pour des questions de taxes et de pressions politico financières. L'automobile reste une vache à lait que l'Etat trait quotidiennement pour élargir et renouveler son réseau routier, via les taxes qu'elle perçoit sur chaque litre de carburant vendu.

Enfin l'Etat lui-même, encourage des mesures technologiques aptes à promouvoir une utilisation excessive du carburant par l'emploi des pots catalytiques qui sont censés limiter les émissions à leur source mais qu'en réalité on ne sait toujours pas comment recycler. Selon le principe de Lavoisier qui prétend que « rien ne se crée, rien ne se perd et tout se transforme » dans le circuit fermé sous cloche qu'est notre Terre, les déchets sont présents et il reste à savoir où l'opinion publique veut qu'ils se trouvent : dans l'atmosphère ou dans les pots catalytiques ? Préfère-t-on des montagnes de pots d'échappement usagés ou un effet de serre accru ?

La même critique peut être adressée à l'encontre des nouvelles énergies qu'on présente comme étant propres. Certaines le sont réellement, mais d'autres, comme l'électricité ou l'hydrogène, ne peuvent prétendre à une propreté clinique que si la production d'électricité à sa source est elle aussi propre, et cela ne peut être le cas qu'avec des unités de production dont l'énergie est éolienne, solaire, hydraulique ou en provenance de la

biomasse. La Suisse est une candidate idéale pour l'utilisation de véhicules propres puisqu'elle fournit une énergie électrique relativement propre. Mais nos efforts pourront paraître vains par rapport à la situation mondiale en matière de pollution puisqu'à ce jour seuls les pays riches et industrialisés peuvent se vanter d'appliquer des mesures de développement durable ; les pays en voie de développement peinent déjà suffisamment à s'en sortir sans penser à l'écologie!

L'absence de pollution des voitures électriques demeure un leurre puisque les batteries restent difficiles à recycler et l'électricité nécessaire à leur fonctionnement provient de centrales dont le propreté écologique laisse souvent à désirer : en Suisse, seul le 20 % de l'électricité est produite à partir de l'énergie hydraulique ; le reste provient des centrales atomiques et une infime partie provient d'autre moyens de production (géothermie, éolienne, solaire). Dans certains pays, les génératrices fonctionnent grâce à des dérivés du pétrole ou au charbon et il est absurde de détériorer une énergie pour en fournir une autre en continuant à croire que celle qui est obtenue est propre! De plus, les compagnies pompent l'eau dans leurs barrages au moyen d'électricité achetée à l'étranger, au tarif de nuit et produite par des centrales atomiques!

Toutes ces constatations aboutissent immanquablement vers autant de situations d'échec lié à un cercle vicieux.

Une hypothèse de situation d'avenir un peu plus saine serait de repenser entièrement le concept de mobilité individuelle. Sans condamner la mobilité pour le plus grand nombre, le véhicule assurant l'autonomie individuelle de déplacement de demain devrait être le plus léger possible et donc d'une taille très largement revue à la baisse, pour accueillir deux personnes en moyenne, disposées peut être l'une derrière l'autre pour un meilleur aérodynamisme et propulsé par une énergie propre, renouvelable et disponible en grande quantité à un prix de fabrication convenable. Le défi technologique de l'architecture de l'automobile de demain est identique au défi des bâtisseurs des cathédrales : soutirer le maximum des potentialités de la matière pour atteindre un optimum de performances et de rendement. Il s'agit d'un problème de maximalisation et de minimalisation mathématique, le seul moyen de satisfaire une économie technologique. Si pour bâtir la cathédrale, et dans un souci de s'affranchir de la matière, on recherche un maximum de hauteur pour un minium de pierre, pour construire le véhicule de demain, on recherchera de même le maximum de stabilité pour le minimum d'acier, d'aluminium, de fibre ou de composite.

Mais le problème doit aussi être minimalisé avec une redéfinition des besoins sociaux pour parfaire l'économie à l'extrême : a-t-on réellement besoin de guatre places dans une automobiles en considérant que le 90 % des trajets sont effectués uniquement avec le pilote à bord ? A-t-on réellement besoin de pouvoir dépasser les 200 km/h avec une limitation de vitesse de 120 km/h sur les autoroutes ? Si le 90% des trajets sont effectués par la même personne et que celle-ci règle son siège deux fois par an, est-il nécessaire d'avoir un siège électrique avec mémoire des positions de conduite ? Est-il absolument nécessaire de boire et de manger à bord de son automobile et donc de posséder les fameux porte-goblets normalisés (pour ne citer qu'un accessoire dont on nous fait croire à sa nécessité)? Ce sont autant de questions, pour n'en citer que quelques-unes, auxquelles les penseurs de la voiture de demain devraient réfléchir. Si le peuple ne peut changer qu'avec la carotte, pourquoi ne pas lancer une nouvelle mode contestataire de notre surconsommation pour faire évoluer la pensée des gens vers un peu plus d'économie et de simplicité ? Il est évident que nous planons au-dessus du territoire de l'utopie puisque le mieux est l'ennemi du bien et que même avec une remise à l'heure des pendules, les constructeurs ne tarderont pas à proposer mieux en terme d'équipement et à meilleur prix et on réinventera les même porte-goblets dans cinquante ans, ceux-là même dont on croyait s'être débarrassé vingt ans avant.

Face à une crise imminente du pétrole et un niveau de pollution alarmant, des ingénieurs se étudient de nouveaux modes de propulsion basés sur des énergies renouvelables comme l'énergie solaire, l'électricité, les piles à combustible à base d'hydrogène ou encore l'air comprimé. Bien qu'elle résolve les problèmes liés à la pollution, la recherche de nouveaux modes de propulsion ne résout pas les problèmes liés à l'engorgement des villes causées par un nombre excessif de véhicules. Même si techniquement les véhicules de demain seront moins polluants, plus économiques au niveau constructif, plus légers, de plus petite taille et recyclables, les problèmes liés au nombre de véhicules ne seront pas résolus. Seule une politique des transports axée sur le développement d'un réseau de transports publics efficace en terme de disponibilité, d'équipement, de prix concurrentiels peut changer la mentalité des gens. Il est nécessaire de reconsidérer l'automobile dans son ensemble pour faire face aux problèmes qu'elle génère. Sans vouloir l'éradiquer complètement, il est indispensable de repenser le concept de la mobilité individuelle.

Il semble clair qu'un progrès technologique seul n'amènera que peu de changement en matière d'écologie s'il n'est pas associé à un réel progrès social, fondé sur une redéfinition des besoins en terme de mobilité individuelle et collective à une vaste échelle territoriale et dans un concept global, du puits à la roue.

4. Un paradoxe social et territorial

Des mesures techniques ont abouti à une production en série d'un nouveau bien de consommation accessible à tous : l'automobile. Celle-ci a vite envahi le paysage et modifié le territoire au profit de son utilisation. Cependant l'Etat n'a-t-il pas promu l'utilisation de l'automobile et participé dans une large mesure à son utilisation à outrance ? L'Etat a aménagé un réseau routier si performant qu'il encourage grandement l'emploi de la voiture au détriment des transports publics. De plus, l'Etat doit payer et rentabiliser son investissement en taxant les carburants, donc il a tout intérêt à promouvoir l'automobile, qui justement nécessite une consommation de ces énergies fossiles. Si se déplacer en auto restait un périple difficile, contraignant et long, peut-être que nous n'aurions pas de tels problèmes liés à une sur utilisation de l'automobile.

En 1955, le litre d'essence coûte 50 centimes, soit 9 heures de travail pour effectuer un plein de 50 litres. En 1975, après le premier choc pétrolier, il faut débourser 90 centimes pour acheter un litre d'hydrocarbure : le plein de 50 litres nécessite 4 heures de travail pour se l'offrir. En 1995, le litre d'essence coûte 1,30 Frs, soit 2,7 heures de travail pour un plein. En 2004, le litre d'essence avoisine les 1,48 Frs et un plein de 50 litres ne nécessite que 2,6 heures de travail pour se le payer. Contrairement aux idées reçues, le litre d'essence par rapport au temps de travail qu'il faut pour se le payer, devient toujours meilleur marché et les moteurs consomment en moyenne moins d'essence, donc avec un plein de 50 litres, l'autonomie du véhicule a augmenté. Face à ces constatations, l'automobile devient de plus en plus accessible et attractive au point d'avoir, en Suisse, une voiture pour deux personnes (510 véhicules/1'000 habitants en 2004, alors qu'en 1995, le rapport est de 460/1'000, en 1975, de 290/1'000 et en 1955 de 60/1'000). Cependant il reste à espérer qu'un seuil de saturation du nombre de véhicules sera bientôt atteint. Le prix de l'essence reste trop bon marché et ne dissuade pas les gens à utiliser leur automobile. Paradoxalement, si le carburant demeure bon marché, les transports publics sembleront en comparaison trop onéreux et leur utilisation sera freinée. De plus, l'Etat n'encourage pas suffisamment l'utilisation de véhicules propres puisqu'il préfère continuer à prélever quelques centimes sur chaque litre d'essence vendu dans le pays, y compris sur ses propres transports publics.

Les voitures proposées comme alternative aux véhicules à moteurs à combustion, par leur faible autonomie et leur vitesse de croisière réduite, sont principalement destinées à une utilisation en ville, là où précisément les problèmes de parcage et d'embouteillages sont les plus forts. Si ce genre de nouveau véhicule séduit par sa propreté vis-à-vis de l'écologie, il ne reste qu'un substitut et ne résout pas le problème socio territorial des voitures surnuméraires.

Les erreurs de planification des villes des urbanistes des années soixante se paient lourdement aujourd'hui. Les cités-dortoirs et leurs grands ensembles ont engendré non seulement des ghettos peuplés d'exclus mais aussi des mouvements pendulaires invivables. Une amélioration à l'avenir, basée en partie sur la mixité des fonctions, ne peut voir le jour que par la collaboration synergique de plusieurs acteurs sociaux dont les principaux sont l'Etat, les politiciens, les ingénieurs et les techniciens, les sociologues et les philosophes, les urbanistes et à plus petite échelle les architectes, les utilisateurs, les producteurs des énergies et ceux qui les distribuent et bien évidemment les gens qui détiennent les capitaux nécessaire au changement.

Le secteur privé a également contribué à la croissance de l'emploi de la voiture puisque dans les périphéries des villes, de grands centres commerciaux ont vu le jour avec de gigantesques parkings. La mentalité des gens reste difficile à changer puisque même si on offre un arrêt de bus ou de métro directement dans la grande surface, le propriétaire exige un parking dimensionné par les normes VSS pour accueillir ses clients motorisés et il contribue ainsi également à la prolifération de l'automobile.

Un problème majeur réside dans l'optimisation de l'occupation de la voiture durant les trajets: le 90% des trajet sont effectués avec uniquement le chauffeur à bord. Techniquement, il serait intelligent de reconsidérer la taille des véhicules en rapport avec les personnes qu'ils sont censés transporter ou socialement, il faudrait encourager les déplacements avec un nombre maximal de passagers à bord comme dans certains projets urbains à l'étude, où les accès aux grandes villes sont équipés de postes de surveillance qui perçoivent une taxe en fonction du taux d'occupation des véhicules.

Géographiquement, les disparités sont importantes en terme de changement de comportement par rapport aux moyens de déplacement. Les habitants des centres urbains et des grandes agglomérations bien desservies par les transports publics peuvent facilement se passer de l'automobile alors que dans les régions rurales et de montagne, dont les Alpes et le Jura, la voiture reste un moyen incontournable de déplacement pour un grand nombre de personnes isolées. Dans certaines villes suisses, posséder une voiture est un cauchemar perpétuel en terme de parcage, si bien qu'un grand nombre de personnes sont des piétons, utilisant au besoin un excellent réseau de transports en commun. L'habitant des villes peut se passer de l'automobile et à tendance à panacher ses moyens de déplacement en fonction de la distance et du lieu où il doit se rendre. Le concept de mobility car sharing (location de véhicules) fonctionne à merveille dans les villes et participe à la réduction du nombre de véhicules dans les villes puisque plusieurs utilisateurs se partagent un même véhicule et que celui-ci est rentabilisé à 100 % avec un partage des coûts d'entretien répercuté sur le prix de la location. De plus il permet de se faire plaisir en changeant parfois de véhicule au gré des circonstances.

Afin de trouver une solution viable sur un horizon à court, moyen et long terme en ce qui concerne les problèmes liés à l'automobile et son impact sur le territoire, il convient de s'interroger sur ce que signifie se déplacer aujourd'hui. Il est convenable d'opérer une distinction entre l'habitant des métropoles suisses, celui des périphéries urbaines et l'habitant des zones rurales ou montagnardes. Repenser le concept de mobilité ne signifie ni s'en priver ni le réserver qu'à une élite. La facilité avec laquelle les gens se déplacent aujourd'hui ne permettra pas un retour en arrière.

5. Un centre technologique

Afin de promouvoir de nouvelles technologies de propulsion fonctionnant à partir d'énergies propres, un comité d'initiative s'est créé en Valais en 1990. Le comité a voulu tout d'abord implanter un centre technologique sur l'aérodrome militaire désaffecté de Rarogne, cependant les habitants de la commune ont refusé catégoriquement d'entrer en matière, notamment pour des raisons de pollution sonore. Dix ans plus tard, cette organisation projette d'implanter à Chamoson, un centre technologique pour réaliser des essais de nouveaux moyens de propulsion de véhicules, basés sur des énergies propres, renouvelables et disponible en grande quantité à un prix qu'il faudra définir comme étant raisonnable ou économiquement supportable.

Situé au lieu dit des Iles de Chamoson, sur les vergers actuels, le centre comprendra une piste d'essai modulable en 10 tracés différents en fonction des tests à infliger aux prototypes, des paddocks, des tribunes et un centre médical. Le site sera doté dans le projet d'une zone industrielle afin d'abriter des centres d'études techniques, puis une station d'épuration, d'une station de couplage électrique pour fournir l'énergie nécessaire au complexe, d'un complexe hôtelier, d'un espace de loisirs et de détente, de commerces, d'un musée, d'un héliport, d'un centre culturel, d'un village, d'un palais des congrès et d'un centre multimédias.

L'implantation du centre technologique au lieu dit des Iles de Chamoson ne produira pas de pollution sonore susceptible d'importuner les lieux voisins habités puisqu'il sera bordé d'une série de barrières naturelles ou artificielles de plus de dix mètres de hauteur dont des remblais en terre servant de gradins naturels ou des buttes boisées. La position même du projet, pris entre le Rhône et l'autoroute et bordé de canaux, oblige une certaine distance vis-à-vis de ses voisins. Des études ont été réalisées en collaboration avec l'Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage et avec le LAVOC (Laboratoire des voies de circulation) de l'EPFL.

Le centre technologique devrait employer environ 300 personnes pour son fonctionnement de base et environ 1'000 personnes pour des tâches auxiliaires. Son impact économique et touristique reste très positif pour le Valais central en proie à une crise économique et hôtelière. Son investissement de base avoisine les 140 millions de francs mais l'ensemble des structures susmentionnées pourrait atteindre un milliard de francs. Le projet nécessitera 100 hectares de terrain dont 80'000 m² en zone industrielle, entre le Rhône et l'autoroute N9.

Concrètement, l'avant-projet pour le centre technologique a été accepté par la Commune de Chamoson le 1^{er} décembre 2003 puis par votation le 10 mai 2004 lors d'une assemblée primaire extraordinaire. Le 17 mars 2004, un préavis favorable de la part des conseillers d'Etat valaisans lui a été attribué. Il doit actuellement fournir à ses frais une étude d'impact, comme le prévoit la loi pour les projets d'une grande envergure comme celui-ci et pour mener à bien sa mission, son comité s'est entouré d'un consultant en environnement. Prochainement, le projet pour le centre technologique sera proposé au niveau cantonal. En janvier 2004, le projet a reçu le soutien de l'Automobile Club Sport, section Berne, ainsi que de la Commission Sportive Nationale en vue de réaliser les premières 24 Heures de Chamoson, une épreuve d'endurance d'envergure nationale destinée à promouvoir l'utilisation des véhicules mus par des énergies alternatives dont

l'hydrogène, l'électricité, l'énergie solaire ou l'air comprimé et démontrer leur fiabilité ainsi que le niveau de performance actuellement atteint.

Le centre technologique est un instrument de travail qui entend tester et élaborer une série de dispositifs visant à équiper des véhicules pour les rendre plus écologiques : de nouvelles énergies renouvelables et disponibles en grande quantité dont l'hydrogène, le solaire, l'électricité ou l'air comprimé, de nouveaux lubrifiants écologiques et de nouveaux matériaux dont l'aluminium, les fibres ou les composites. Des véhicule à faible consommation d'énergies dont les technologies servent de transition seront probablement étudiés comme les automobiles hybrides combinant des moteurs à essence et des batteries électriques ou encore des engins fonctionnant avec des biocarburants. Des études qui porteront sur l'aérodynamisme pourront être effectuées, afin de parfaire le profil des véhicules du futur pour mieux pénétrer l'air et par conséquent, réduire leur consommation énergétique. Des mesures précises pourront être effectuées par télémétrie, au moyen d'une soufflerie ou encore par voie informatique.

Le centre technologique sera à caractère évolutif puisqu'il suivra l'avancée des nouvelles technologies en partant des véhicules hybrides existants à très faible consommation d'énergie fossile (moins de 3l.de diesel/100km) qui se transformeront avec le temps en véhicules électriques, à énergie solaire, à air comprimé ou à hydrogène, dont la technique reste très prometteuse du moins en Suisse à cause d'une production d'électricité relativement propre.

6. De l'utilité du centre technologique

Un tel projet est nécessaire pour faire un pas de plus vers des moyens de déplacement plus écologiques même s'il ne résout pas toutes les questions relatives à la mobilité. Ce projet serait un tremplin vers une réelle recherche pour aboutir à une ébauche de solution en matière d'environnement et de transports. Il est certain que tant qu'on ne se décidera pas à agir sous prétexte que tel ou tel projet demeure perfectible, aucun projet prometteur ne verra le jour et à l'aube d'une crise énergétique planétaire, on n'en sera qu'aux balbutiements de technologies qui auraient pu aboutir si on les avait développé plus tôt. Il est grand temps de mettre une fin à un statu quo technologique en matière de développement durable et à une hégémonie des producteurs de pétrole.

En considérant le problème des transports et de la mobilité envers l'environnement sous deux axes, l'un technologique, et l'autre social et territorial, on comprendra aisément que le centre technologique permet de mettre en gestation des embryons de solutions sur le plan technique. La question sociale et territoriale concernant l'utilisation massive des véhicules demeurera ; cependant on sera d'ores et déjà dans une optique d'amélioration de la qualité de vie de l'être humain et de son habitat. Il n'appartient pas au centre technologique de résoudre la question sociale et territoriale, puisqu'il ébauche déjà une solution d'avenir sur le plan technique et le défi reste de taille.

La fin du monopole énergétique des pays producteurs de pétrole (OPEP) signifierait également la fin de bon nombre de conflits armés et économiques actuels dont l'objectif inavoué demeure la domination de l'or noir. Si les technologies relatives à l'hydrogène aboutissent et si elles deviennent accessible à un prix de revient acceptable, tous les pays pourraient le synthétiser d'une manière autonome dans une optique de développement durable pour le plus grand bien et pour le plus grand nombre puisqu'il reste le gaz le plus répandu dans l'univers. Le développement de la production de l'hydrogène comme nouvelle énergie profiterait également aux unités de production de chaleur des immeubles. Par extension, la fin de l'emploi du pétrole impliquerait la fin des marées noires dues aux accidents des pétroliers, mais aussi une nette diminution des polluants présents dans l'air et une meilleure qualité de vie.

Renoncer à la construction du centre technologique sous prétexte que celui-ci procèdera à une modification partielle du territoire, de la faune et de la flore situés dans les vergers et aux abord du Rhône ne serait pas un argument suffisant par rapport aux nombreux avantages, aux retombées internationales, dont pourraient profiter les générations futures grâce au développement de nouvelles techniques de propulsion écologiquement propres. De plus, le projet englobe une étude d'impact et entend fournir des compensations honnêtes pour les biotopes éventuellement perturbés en aménageant des surfaces de substitution ad hoc. Le marais voisin ne sera pas touché par le projet et le biotope existant autours du canal de ceinture sera étendu et revalorisé. Un périmètre de sécurité est maintenu par rapport aux risques de débordement du Rhône et aucune correction de celui-ci n'est nécessaire. Ce projet économe envisage la création d'un maximum de zones vertes entre ses entités, dont des remblais en terre servant de gradins naturels, des canaux aménagés, des buttes boisées et des criques sauvages au niveau des berges du Rhône. Ces différents dispositifs permettront aux espèces animales d'y élire domicile.

Le projet englobe une station de couplage pour l'électricité. Comme le site est situé en Valais, au cœur des Alpes, l'électricité produite est obtenue par la force motrice hydraulique et par conséquent, elle demeure propre et apte à un développement des

technologies relatives aux piles à combustible à hydrogène ou encore plus généralement aux solutions électriques.

L'entier du concept des transports et des marchandises en relation avec le centre technologique reposera évidemment sur l'application directe des nouvelles technologies de propulsion écologiquement propres et basées sur des énergies renouvelables. Afin de montrer l'exemple à suivre et avant de généraliser le concept aux régions environnantes, les bus navettes reliant le projet aux différentes agglomérations avoisinantes fonctionneront exclusivement grâce à ces nouvelles technologies.

7. Conclusions

A l'aube d'une crise énergétique mondiale due à la disparition programmée des énergies fossiles, il importe de développer dans l'urgence des solutions de substitution pour assurer la mobilité des générations à venir dans une optique de développement durable solidement basée sur des énergies renouvelables et non polluantes.

Ces énergies doivent impérativement satisfaire un bilan écologique exempt de pollutions pour préserver la terre mère. Pour satisfaire cet objectif, il est nécessaire de considérer l'ensemble du cycle de production et d'utilisation des énergies nouvelles, pour s'assurer que chacune des étapes soit écologiquement satisfaisante. La méfiance est de rigueur dans un mécanisme difficile où le leurre est aisé. Seul un travail minutieux et une analyse globale intégrant une grande quantité de paramètres peuvent aboutir à des solutions qui s'extraient des cercles vicieux rencontrés jusqu'ici.

Les nouvelles technologies entrent dans une saine concurrence à qui emportera le marché de demain en matière d'exploitation énergétique propre à assurer le déplacement des véhicules. Il importe à chacun de trouver la solution la mieux adaptée en fonction de ses propres besoins et des moyens mis à disposition. La solution est sans doute plurielle, particulière, adaptée au cas par cas, symbiotique et complémentaire d'autres technologies.

La recherche connaît un degré d'avancement différent selon les technologies, c'est pourquoi il importe de ne pas négliger l'une d'entre elles sous prétexte que ses résultats ne sont pour l'instant pas prometteurs. Il sera probablement judicieux de procéder par adaptations successives à des situations sans cesse changeantes, pour ce faire, des solutions transitoires seront nécessaires, comme les technologies hybrides qui n'abandonnent pas totalement les hydrocarbures. La patience est de rigueur pour trouver des techniques de plus en plus fiable, mais l'objectif reste clair : un affranchissement vis-àvis des énergies fossiles et d'une manière générale, de toute énergie polluante.

Le développement d'un centre technologique permet une anticipation à la crise imminente. Se désintéresser d'une telle opportunité serait une erreur impardonnable dans une société qui ne peut plus se passer d'un grand potentiel de mobilité individuelle ou collective.

Le problème reste double puisqu'il comporte, outre un aspect purement technique, une dimension sociale et territoriale dont les enjeux sont de taille puisqu'ils façonnent le paysage et modifient l'urbain autant qu'ils influencent la vie des gens. Si la facette technique entrevoit un ensemble de solutions émergentes, il importe de lui accoupler autant d'échos au niveau des solutions sociales et territoriales. Un dialogue serait souhaitable entre une grande diversité d'acteurs à toutes les échelles socioprofessionnelles afin de sonner le glas pour une série de paradoxes qui font tourner les problèmes en cercles vicieux.

Comme le disait Saint Exupéry : « Nous n'héritons pas des la terre de nos ancêtres mais nous empruntons celle de nos enfants. » Si notre génie humain a su inventer des dispositifs pour accroître sa mobilité dans un confort relatif, a réussi à modifier le climat et l'aspect de la planète qui l'héberge, à anéantir en un siècle et demi des réserves d'hydrocarbures créées en plusieurs millions d'années, il est de son devoir de se donner les moyens de réparer ses torts, par responsabilité envers ses successeurs et envers les espèces qui l'entourent.

Références

- KAUFMANN Vincent, *Mobilité quotidienne et dynamiques urbaines : la question du report modal*, Lausanne, PPUR, 2000.
- WIEL Marc, *La transition urbaine ou le passage de la ville-pédestre à la ville-motorisée*, Sprimont, Mardaga, 1999.
- PENY André et WACHTER Serge, *Les vitesses de la ville*, Saint-Estève, Editions de l'aube, 1999.
- <u>www.centre-technologique.ch/</u> (site officiel du centre technologique de Chamoson en Valais)
- www.admin.ch (site sur les lois fédérales)
- www.mobility.ch (site de location de voitures en mode car sharing)
- <u>www.motormdi.com/index.html</u> (site sur les voitures de Guy Nègre entraînées par air comprimé)
- www.géocities.com/ (site sur les voitures électriques)
- http://perso.club-internet.fr/pboursin/pdgve3.htm (site sur l'histoire des voitures électriques)
- www.clean-auto.com/ (site sur les voitures propres)
- www.nuna2.com (site sur la voiture solaire nuna2)
- www.ifp.fr/ (site officiel de l'institut français du pétrole expliquant l'hydrogène)

Annexes

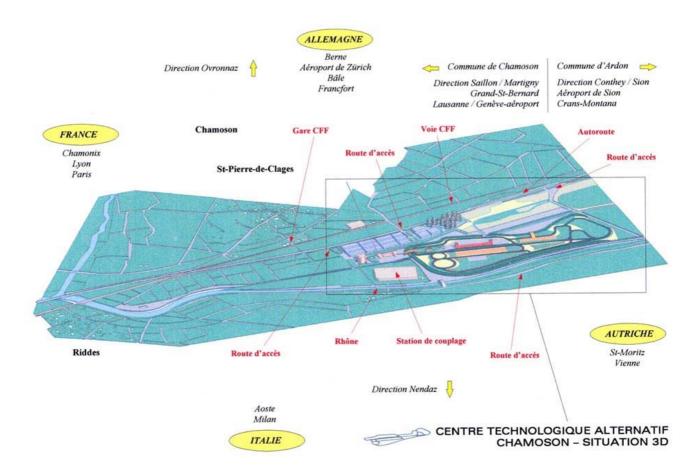


Axonométrie du projet pour le Centre Technologique de Chamoson et coordonnées des concepteurs. Source : Architecture Salamin SARL UVAI.

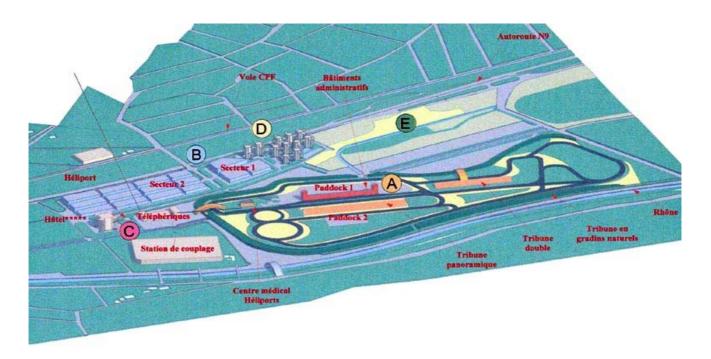
Christian Salamin	
Antoine et Christian Salamin Jacques Salamin	
Michel Theytaz	
Emmanuel Gaillard	
André Putallaz, Président de la commune	
Jean-Marie Wyder	
Patrick Chevrier	
Tél. & fax: 0041 (0)27 456 29 31	
E-mail: centre.technologique@netplus.ch	
Compte postal No: 17 – 609010 – 2	



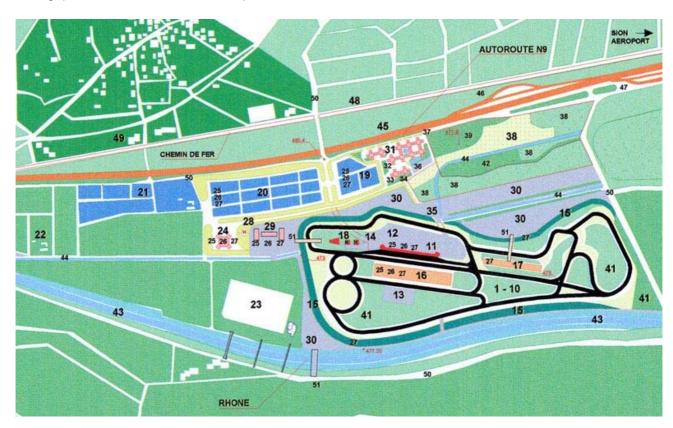
Photo aérienne du site au lieu dit des « lles de Chamoson » sur lequel le Centre Technologique est projeté avec le périmètre en rouge. Source : Architecture Salamin SARL UVAI.



Plan d'accès au Centre Technologique depuis les villes et les pays voisins. Source : Architecture Salamin SARL UVAI.



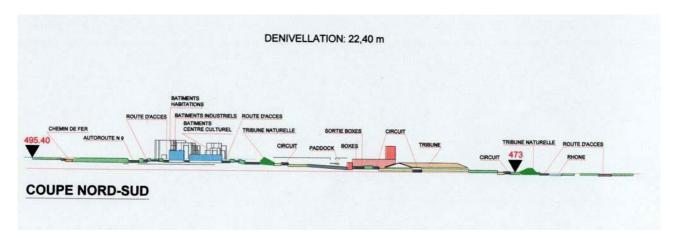
Légende: A – développement technologique avec 10 pistes d'essais, B – zone industrielle de recherches et développement des nouvelles technologies en atelier, C – espace loisirs dont les hôtels et le téléphérique, D – centre culturel comprenant le village, les musées, le palais des congrès et le centre multimédias, E – zone écologique dont les marais et les biotopes naturels. Source: Architecture Salamin SARL UVAI.



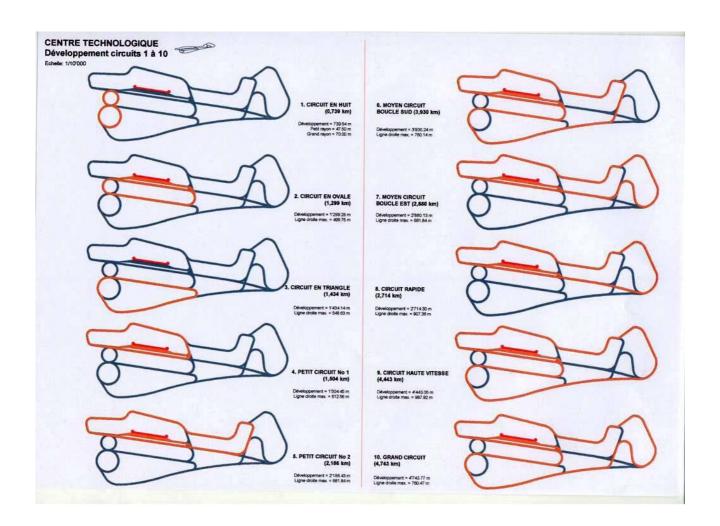
Vue en plan du Centre Technologique. Légende : 1 à 10 – circuits 1à 10, 11 – bât. Administratifs, 12 et 13 – paddocks, 14 – accès paddocks, 15 – tribune naturelle, 16 et 17 – tribunes, 18 – centre médical, 19 à 21 – secteurs industriels, 22 – station d'épuration, 23 – station de couplage, 24 – hôtels, 25 – restaurants et buvettes, 26 – commerces, 27 – sanitaires, 28 – héliport, 29 – téléphérique, 30 – parking, 31 – le village, 32 – musées, 33 – palais des congrès, 34 – centre multimédias, 35 – accès paddocks par tunnel, 36 – parkings, 37 – accès indépendants, 38 – marais, 39 – biotope, 41 – verdure, 42 – collines et forêts, 43 – Rhône, canaux, 45 – autoroute N9, 46 – accès nord autoroute A9, 47 – accès sud autoroute N9, 48 – voie CFF, 49 – gare CFF, 50 – routes d'accès, 51 – passerelles et ponts. Source : Architecture Salamin SARL UVAI.



La station électrique de couplage qui alimentera le centre technologique en énergie propre, tirée des forces motrices des barrages avoisinants. Source : Architecture Salamin SARL UVAI.



Coupe sur les principales entités constituant le Centre Technologique de Chamoson. Source : Architecture Salamin SARL UVAI.



La piste d'essai du Centre Technologique peut, dans un grand souci d'économie d'espace, se découper en dix combinaisons de tracés en fonction des besoins et des tests à infliger aux prototypes. Une exploitation simultanée de plusieurs circuits est envisageable. Certains tracés comme la piste 3 sont spécialement conçus pour permettre une évaluation des véhicules dans des conditions météorologiques difficiles recréées artificiellement sur sol humide, enneigé ou gelé au moyen de canons à neige sur rails. Des cours de conduite seront proposées notamment dans le cadre des auto-écoles, des écoles de police, de pompiers et de l'armée. Source : Architecture Salamin SARL UVAI.



Prototype de véhicule à hydrogène de General Motors « HydroGen3 » sur la base d'une Opel Zafira en action dans la section Bergwerk au Nürburgring. Source : www.autodeclics.com.



La pile à combustible du moteur à hydrogène est logée dans le compartiment moteur. Source : www.autodeclics.com.



L'utilisation de nouvelles énergies comme l'hydrogène ou l'air comprimé nécessitent un nouveau réseau de stations service ad hoc. Source : www.autodeclics.com.



Transport public mu par air comprimé selon la technologie développée par Guy Nègre. Source : Moteur Développment Compagny (MDI).

30



Véhicules propulsés par air comprimé commercialisés en petites séries par Guy Nègre et vue éclatée d'un prototype de moteur. Source : Moteur Développment Compagny (MDI).





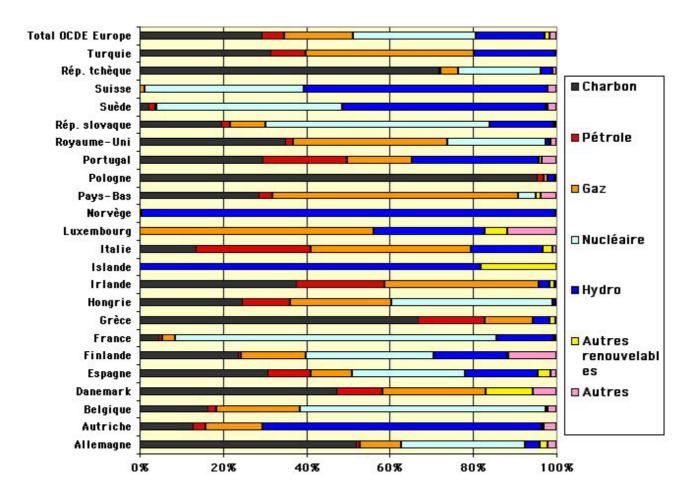
Remplissage du réservoir à air comprimé, à gauche, à la station service, à droite, au moyen d'un compresseur sur secteur 220 V. Source : Moteur Développment Compagny (MDI).



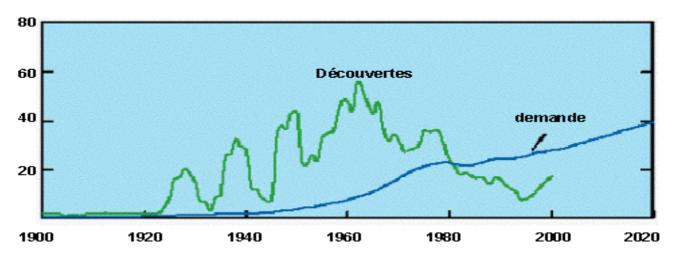
Nuna2, vue fantôme du prototype de véhicule à trois roues dont les batteries sont rechargées par énergie solaire. Source : www.nuna2.com.



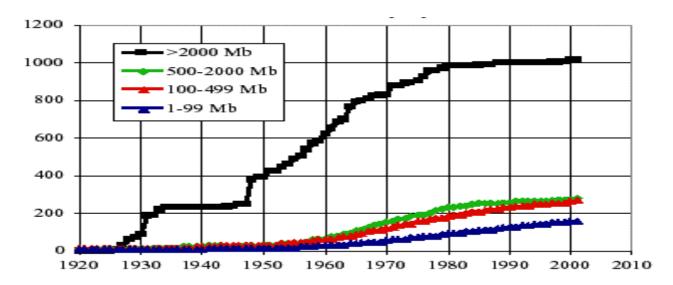
Aurore 101 durant l'épreuve d'endurance sur 3'000 km en Australie, prototype de véhicule à énergie solaire dont la forme, adaptée au captage des rayons du soleil, rappelle Nuna2 et, d'une manière générale, tous les véhicules solaires actuels. Source : www.nuna2.com.



Structure de la production d'électricité dans divers pays européens en 2001. Pour l'ensemble des pays de l'OCDE en Europe, l'électricité est faite pour 30% au charbon, 5% au pétrole, 16% au gaz, 30% avec des centrales nucléaires, 17% avec des barrages, et 3% d'une autre manière (ce qui comprend la géothermie, le solaire, l'éolien, etc). Une part de 50% de l'électricité européenne vient donc des combustibles fossiles. La moyenne mondiale d'électricité faite avec des combustibles fossiles est plus proche de 66%. L'électricité dont la production est assurée par des combustibles fossiles ne peut être considérée comme écologiquement propre. Source : Ministère de l'industrie, Observatoire de l'énergie (France).



En vert, découvertes annuelles de pétrole conventionnel, en milliards de barils, et en bleu, consommation annuelle de produits pétroliers. Depuis 1980 ou 1970 pour les plus pessimistes, la consommation des ressources physiques de pétrole dans le sol dépasse la découverte des gisements. Il s'agit du total des ressources physiques, appelées réservoirs, et non pas de la quantité de pétrole réellement extraite, qui demeure encore inférieure. Les ressources s'épuisent mais la demande en énergies fossiles croît, d'où l'utilité de promouvoir la recherche et l'utilisation de nouvelles sources d'énergie, renouvelables et écologiquement propres. Source : Exxon Mobil.



Totalité du pétrole découvert sous terre, pour l'ensemble du monde hors US et Canada, en milliards de barils, par taille de champs et par année (les tailles de champ sont en millions de barils ; 1 baril = 159 litres). On note que des découvertes ont encore lieu pour des petits champs (les courbes rouge et bleue continuent de croître), mais que les "champs géants" (courbe noire), à plus de 2 milliards de barils pièce, n'ont fait l'objet de quasiment aucune découverte depuis 1980, et que les "grands champs" (de 500 millions à 2 milliards de barils, en vert) ne s'accroissent quasiment plus depuis 1990. La découverte de petits gisements de pétrole laisse entendre une prochaine disparition des énergies fossiles. Source : www.manicore.com