

SURVOL DE LA RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE EN 1999

Léo Dubal, e-diteur

Note introductive

Comment raconter une multitude d'histoires de telle manière que l'ensemble ne forme pas une collection, mais un tout ? La préface de 1989 au "Manuscrit trouvé à Saragosse" de Jan Potocki (1761-1815) rend ainsi hommage au premier "écrivain-surfeur" de la langue française. Pour moi qui ne suis pas écrivain, c'est un privilège rare...à l'échelle planétaire, qu'à la veille de ma retraite, la technologie du *click souris* me permette, avec ma 22^{ème} édition du rapport annuel de l'OFEN sur la recherche énergétique suisse, d'être l'un des premiers à **connecter sur 2 pages, l'accès à 2000 pages** de rapports totalement inédits. Cette année, les hyper-liens de la version électronique rendent la version "unidimensionnelle" – papier – quasi-obsolète !

Les dépenses des pouvoirs publics pour la recherche énergétique, ont continué, en 1999, de décroître. Cependant, l'OFEN, grâce au caractère subsidiaire de son soutien financier, ainsi qu'à l'excellente organisation des ses programmes, est parvenu à maintenir la qualité de très haut niveau des résultats obtenus.	Ce survol <i>critique</i> de la RD&D vise - à l'aide d'un bref commentaire sur chaque domaine d'activité classé selon les vecteurs électricité, hydrogène et chaleur - de donner au lecteur l'envie d'en savoir plus...et de stimuler les synergies entre les organisations concernées, publiques et privées.
--	--

- Dans le secteur des techniques de **production de l'électricité**, la libéralisation du marché offre, certes, de nouvelles opportunités, mais elle exige, en contrepartie, une plus grande transparence des coûts.

- Domaine des **petites centrales hydrauliques**: il est symptomatique. La libéralisation a créé un climat d'insécurité, défavorable aux projets de démonstration. Côté recherche, le "cône-double" (concept émanant de *l'Inselspital*), placé dans le lit des rivières, permet de pomper l'eau jusqu'à 10 m de hauteur, sans la turbiner !

- Domaine **fusion nucléaire**: l'imminence des réacteurs commerciaux - annoncée dans les années 50 du siècle dernier - est reportée, sans fard, aux années 2050. Une installation pilote a produit quelques *flashes* de 16 MW et une centaine de doctorats.

- Domaine **sécurité nucléaire réglementaire**: l'importance du re-calibrage régulier des détecteurs, utilisés lors du contrôle de la contamination des *containers*, est enfin reconnue. Concernant les accidents graves, une collaboration Suisse / États-Unis devrait permettre l'obtention de résultats qui seraient, autrement, hors d'atteinte.

- Domaine **sécurité nucléaire** et gestion des déchets: l'autorisation d'augmenter de 15% la puissance de la centrale nucléaire de Leibstadt a conduit à toute une série de tests. D'autre part, une gestion plus rationnelle des barres de combustible a entraîné des essais variés.

- Domaine **combustion**: là, il y a record mondial. Un moteur à gaz - pour les unités chaleur-force de la classe 200 kW_{el} - a été mis au point. Son efficacité atteint 42,5 %, et son taux d'émission de NO_x est inférieur à la barre des 10 ppm.

- Domaine **pires** au gaz naturel & aux bio-combustibles: l'analyse détaillée des coûts des divers procédés de fabrication développés en Suisse, pour les piles céramiques, révèle que les différences sont minimales en regard de la part "main d'œuvre". Quant à l'énergie grise investie, elle est amortie en moins de dix jours d'opération.

- Domaine **vent**: le parc d'éoliennes s'agrandit. Il atteint 2,8 MW, et pourrait, d'ici 2010, être multiplié par dix, en prenant avantage de l'accès sur Internet des données météo locales.

- Domaine **géothermie**: la localisation en surface du pourtour (de quelques km !) d'un réservoir profond, en région bâloise, est en train d'être réalisée par voie acoustique.

- Domaine **photovoltaïque**: l'identification d'un potentiel de 217 MW_p le long des voies de communication, ne doit pas occulter le coût encore élevé des installations PV classiques. Le recours aux matériaux exotiques tel le CdTe laisse songeur. Quant aux cellules GRÄTZEL, leur électrolyte liquide reste à gélifier.

- **L'utilisation de l'électricité** la plus rationnelle est celle que l'intelligence a évité de consommer.

- Domaine [fondements de l'économie énergétique](#): des bases solides pour le contre-projet à l'initiative dite *solaire*, ont été élaborées, et ont débouché sur le projet de loi sur une taxe d'encouragement (LTE).

- Domaine [utilisation de l'électricité](#): "*To re-boot* son PC, c'est toujours bon !", avec, en prime, une meilleure stabilité...50% d'économie de courant, grâce au *e-manager*. Pour les distributeurs de boissons réfrigérées, c'est dans l'éclairage que se trouvent les économies!

- Domaine [accumulateurs](#): sur la ligne de départ pointe le lithium rechargeable, pour NATEL ! Mais la médaille d'or revient au nouveau matériau d'électrode à haute capacité massique, découvert à Zürich. Les batteries seraient-elles enfin pleines ?

- Domaine [trafic](#): avec son design futuriste, le [e-bike](#) (voir première de couverture) fait figure d'archétype de la mobilité du futur....

- Parmi les vecteurs énergétiques secondaires, seule l'électricité s'est fait une place au soleil. Mais jusqu'à nouvel avis, **l'hydrogène** reste candidat.

- Domaine [hydrogène](#): côté production, espoirs déçus, la photo-électrolyse de l'eau de mer, s'accompagne de chlore dont la formation ne peut être réduite. Côté stockage, la nouvelle technique de remplissage rapide de gaz sous pression, combinée aux cylindres en matériau composite avec de la fibre de carbone, progresse...alors que les nanostructures de carbone s'apprêtent à conquérir le devant de la scène....

- Domaine [piles à hydrogène](#): une embarcation électrique biplace, équipée d'une pile "portable" de seulement 300 W, a atteint la vitesse de croisière de 12 km/h, avec le handicap du "stockage de l'hydrogène".

- La **chaleur** est le vecteur qui affecte directement la sensation de confort, mais elle trouve des applications à toute température.

- Domaine [chimie solaire](#): un réacteur donne satisfaction...aux antipodes. Reste à souhaiter à ce domaine un chef de programme résidant en Suisse.

- Domaine [biomasse](#): dynamisée par les projets de démonstration, la contribution à la couverture de l'énergie finale a atteint 2,5%. La gazéification du bois sera prochainement, mise sur orbite.

- Domaine [géothermie](#): les sources de chaleur peu profondes sont "renouvelables" et leur extraction peut, donc, s'effectuer "sans voler les voisins".

- Domaine [solaire actif](#) (chaleur): les installations solaires combinées - eau chaude et chauffage - pour les villas, intègrent, désormais, l'appoint solaire. Les performances obtenues les rapprochent de la rentabilité économique. Des solutions optimales, standardisées, sont à l'étude, au niveau international.

- Domaine [stockage de chaleur](#): les pionniers du stockage solaire saisonnier souterrain, à l'échelle de la villa, sont déçus ! Un stock souterrain ne se justifie qu'au-dessus de 20'000 m³, sans utiliser de pompe à chaleur. Par contre, avec 30 m² de capteurs solaires et un stock d'eau de 10 m³, une "maison Minergie", peut être autonome...

- Domaine [utilisation de l'énergie dans le bâtiment](#): l'échange du vitrage, sans adaptation du cadre de la fenêtre, reste le *hit* en terme de rentabilité économique. Les composants thermoactifs (dont la taille a été réduite par cinq) invitent, eux aussi, à un confort renforcé.

- Domaine [chaleur force & rejets de chaleur](#): les projets de démonstration portent leurs fruits: 30% des nouvelles habitations sont équipées d'une pompe à chaleur ! Par ailleurs, les défenseurs de l'environnement peuvent déjà se féliciter du succès du modèle fonctionnel d'une petite unité à l'ammoniac...

- Domaine [eau chaude](#): c'est l'éternel dilemme entre le savoir-vivre et le savoir-économiser, à savoir, profiter de se baigner à deux, ou appartenir à l'élite des 6%, utilisant une douche équipée d'une tête parcimonieuse....

- Domaine [architecture solaire](#): les progrès des matériaux ont rendu caduques les règles de la SIA, émises à la fin des années 80. La SIA recommandait des valeurs $k = 3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$, alors que la technologie offre des valeurs trois fois plus petites !

PILES À COMBUSTIBLE & ACCUMULATEURS

Rapport de synthèse
sur les activités 1999 du programme de recherche

Léo Dubal

leo.dubal@bfe.admin.ch



Place à la pile portable

.....mais après usage, la prudence exige de l'emporter avec soi! À Yverdon - même sans EXPO.01 - des embarcations lacustres à propulsion électrique sont alimentées par piles à combustible. Ici, un bateau de MW-Line, équipé de la pile de 1.5 kW développée au PSI, est arrivé à bon port. (Photo: Dubal / 30.9.1999)

Avertissement au lecteur

Ce rapport ne peut être consulté intégralement que sur Internet: seuls ses **hyper liens** "bleus soulignés" déclenchent (par "**click souris**") le téléchargement des rapports annuels [1999](#) des projets du programme, des références électroniques, et des rapports de synthèse [1997](#) et [1998](#).

Introduction

Le Programme **Piles à combustible & Accumulateurs** a coordonné pendant douze ans l'ensemble des activités suisses de ce domaine autour d'une stratégie cohérente et intégrée dans la collaboration avec les Communautés européennes. Par ailleurs, en anticipant les restructurations en cours à l'OFEN, les résultats des mandats de recherche présentés ici sont groupés en trois domaines:

- a) **les piles au gaz naturel & aux bio-combustibles reformés**, pour les installations stationnaires & portables,
- b) **les piles à hydrogène pur** pour les applications "exotiques" et de démonstration,
- c) **les accumulateurs, chargeurs intelligents & supercondensateurs** pour les applications mobiles.

Le soutien subsidiaire de l'OFEN à la recherche en matière de générateurs électrochimiques est modeste et se limite aux types les plus prometteurs pour la politique énergétique suisse.

Il s'ensuit que le soutien financier de la Commission pour la Technologie & l'Innovation (CTI), des trois fondations pour la recherche énergétique PSEL (Fonds pour projets et études de l'économie électrique), FOGA (Fonds de recherche de l'industrie gazière suisse), et FRUP (Fonds de recherche de l'Union Pétrolière), ainsi que du Programme Prioritaire Matériaux (PPM) du Conseil des Écoles Polytechniques, et de l'OFES pour la participation suisse aux programmes européens constitue un ensemble de contributions essentielles à l'émergence de ces technologies sur le marché.

État de la technique & collaboration internationale

♥ *Ce survol du domaine reste volontairement hors du cadre strict des mandats pour l'année 1999.*

Un **générateur électrochimique** est un appareil convertissant directement l'énergie chimique en électricité. On distingue d'ordinaire *accumulateurs* et *piles à combustible*.

Dans les *accumulateurs*, l'anode est rechargée, en inversant le sens du courant.

Dans les *piles à combustible*, l'anode "P" doit être constamment alimentée: elle est placée dans l'enceinte du combustible. L'électrode négative "N", elle, est côté air, alors que l'électrolyte "E" sépare, de manière étanche, les deux enceintes combustible & air.

Pour former le module répétitif d'une pile, les cellules électrochimiques élémentaires "PEN" sont mises en série: soit sur un même support mécanique, soit par empilement des supports (et des deux enceintes) distincts.

Les deux modes de mise en série ont été explorés, aussi bien dans la géométrie tubulaire ("*bell & spigot*" et "*éprouvette*") que dans la géométrie plane ("*mosaïque*" et "*Cédérom*").

À la Conférence de Pavie, commémorant le 200^{ème} anniversaire de la découverte de la pile par VOLTA, nous avons réexaminé ces divers [compromis](#) entre efficacité et coût de production.

PILES À COMBUSTIBLE

Qu'il suffise qu'un Bill GATES déclare posséder 5% des actions d'[AVISTA](#) et ce titre monte le même jour de 30%. Ceci laisse présager des surprises à venir ! La Conférence de Lucerne, fin juin, sur les "*Portable Fuel Cells*" a permis de dévoiler l'intense [activité](#) de développement des applications dans la gamme de puissance du W au kW. Les *laptops* et téléphones cellulaires apparaissent comme le premier marché de masse visé.

Le choix et la qualité du combustible dépendent de la température d'opération de la pile à combustible, c'est-à-dire de son type d'électrolyte:

1) **Les piles à électrolyte céramique**, dites [SOFC](#) (*Solid Oxide Fuel Cells*), en sont au stade de l'installation pilote. Dans la gamme du kW_{el}, [SULZER HEXIS](#) lancera - en pionnier - sur le marché dès 2001 une série d'unités prototypes intégrées à une chaudière à gaz de 10 kW_{th}. La commercialisation est prévue pour 2004.

Ces piles fonctionnent à partir de **700 °C**, sans nécessiter de catalyseur "noble", susceptible d'empoisonnement. Un reformage partiel et intégré du combustible, même riche en CO (gaz naturel, biogaz, mazout), est suffisant.

Alors que SULZER HEXIS vise, avec ses éléments modulaires type "Cédérom", le marché "chaleur-force domestique", ROLLS ROYCE développe un module type "mosaïque" pour les grosses installations.

L'EPFL participe, elle, à une collaboration [européenne](#) sur les matériaux pour piles céramiques à coût modéré, et SULZER HEXIS participe à deux projets européens, un sur les piles à [température intermédiaire](#), et un sur les piles avec [reformeur POX](#) pour le gaz naturel.

2) Les piles à électrolyte d'acide phosphorique, dites *PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cells)*, sont déjà commercialisées dans la gamme des 200 kW_{el}. Elles sont les seules piles au gaz naturel pour lesquelles une durée de vie de 40'000 heures a été démontrée, entre autres [à Genève](#).

Ces piles fonctionnent aux environs de **200 °C**. Elles nécessitent donc un catalyseur de Pt, qui, lui, requiert un reformage poussé. Avec plusieurs centaines d'unités en opération, leur prix - le triple de celui d'une installation classique - reste l'obstacle principal à leur entrée sur la scène énergétique. L'utilisation du *biogaz* dans une PAFC exige une installation de purification supplémentaire, entraînant un surcoût dissuasif.

3) Les piles à électrolyte polymère, dites *PEFC (Polymer Electrolyte Fuel Cells)*, sont en voie de commercialisation. VAILLANT projette de lancer en 2001 - tout comme HEXIS avec ses piles SOFC - une série d'unités prototypes de piles PEFC de 1 kW_{el}, combinées avec une chaudière au *gaz naturel*.

Ces piles, fonctionnant au dessous de **85°C**, nécessitent un catalyseur Pu/Ru et un combustible hautement reformé (hydrogène "pur", avec une contamination maximum de 10 ppm de CO). Si un tel reformage peut être effectué économiquement à l'échelle du kW, il reste, bien sûr, à démontrer !

Dans la gamme de puissance des 250 kW_{el}, BALLARD, à Vancouver, a livré à un client américain une installation dotée d'un délicat reformeur pour le *gaz naturel*. [EBM](#), à Münchenstein, est sur la liste d'attente de GEC-ALSTOM, le partenaire européen de BALLARD. Avec une durée de vie encore inconnue et un prix de lancement "peu abordable", cette pile ne constitue pas, actuellement, un concurrent à la PAFC PC25C d'ONSI.

La fabrication de *stacks* PEFC à coût modéré pour les applications mobiles a fait l'objet d'une collaboration [européenne](#), à laquelle a participé le PSI. Grâce, entre autres, aux membranes aromatiques d'AVENTIS, un coût unitaire inférieur à 100 CHF / kW_{el} apparaît comme réaliste. Il faut cependant relever que la gestion du combustible à bord du véhicule (stockage d'Hydrogène ou reformage d'hydrocarbures) à un coût acceptable menace d'être le "*killing factor*" de ces efforts de recherche.

Dans la gamme de puissance des 75 kW_{el}, BALLARD est parvenu à intégrer sa pile H₂/air jusqu'à une puissance volumique de 1,3 kW/litre. Démarrant par - 25°C, cette pile satisfait une condition-clé de l'industrie automobile, mais occulte la question du combustible.

Dans sa version au *méthanol reformé*, la puissance tombe au dessous de la barre de 1 kW/litre.

OPEL alimente, elle, la pile de 55 kW de sa ZAFIRA avec un réservoir d'H₂ liquide, à -253 °C. Cette

stratégie élude, bien sûr, le problème de la contamination en CO.

Pour les applications portables, le *breakthrough* que pourrait représenter le stockage d'*hydrogène* dans des nanostructures de carbone dûment dopé fut au centre des débats, lors du [Workshop](#) du 21 juin, à Horw. D'autre part, dans la gamme de puissance de 1 à 1000 W, les *bio-combustibles*, en particulier le mélange 1:10 méthanol/eau, offrent une alternative plus "ergonomique" que l'hydrogène. On parle dans ce cas, de *DMFC (Direct Méthanol Fuel Cells)*.

ACCUMULATEURS

1) Les accumulateurs "nickel-hydrures métalliques" font l'objet d'une collaboration [européenne](#) visant à améliorer leur cinétique. Y participent l'UNI-Fribourg et LECLANCHÉ, à Yverdon [35].

2) Les accumulateurs "sodium-chlorure de nickel" ZEBRA dont les excellentes performances avaient été démontrées dans les *Wiler Stadtbuss*, sont désormais en production chez MES, à Stabio.

3) Les accumulateurs "zinc-air" font l'objet d'une collaboration [européenne](#); le PSI y participe activement.

4) Les accumulateurs "ions-lithium": en attendant un "*scaling-up*" pour le transport, ils s'imposent sur le marché du portable. RENATA, à Itingen développe un module pour les Natels, alors que XOLIOX, à Ecublens développe un module pour les aides auditives.

5) Les supercondensateurs constituent le partenaire "haute-puissance" des accumulateurs classiques au Pb ou autres. [MONTENA](#), à Rossens, s'est engagé résolument, début 1998, dans le développement et la production des "*Boostcaps*". Le 10 juin 1999, elle organisait une conférence internationale et y conviait tous ses concurrents.

L'électronique de puissance pour la gestion des supercondensateurs, développée il y a 6 ans à la [HTA-Luzern](#) pour son véhicule hybride *Blue-Angel*, devient - dans le cadre d'une collaboration avec SCHINDLER-Aufzüge - l'objet d'un transfert de technologie très prometteur à un champs d'application aux transports.

À l'EPFL, une solution a été trouvée à l'égalisation de la charge des *Boostcaps*, alors que leur couplage à un accumulateur pour le démarrage d'un véhicule a fait l'objet d'un travail de diplôme à la HES-Bienne.

COLLABORATIONS INTERNATIONALES

Au vu des six projets européens hyper-liés, la participation suisse aux programmes communautaires doit être taxée de fructueuse. En ce qui concerne la collaboration, sous l'égide de l'AIE, on note un essoufflement; les contacts directs prennent la relève. L'échange d'information de première main reste cependant incontournable.

Buts visés pour 1999

a) Piles au gaz naturel & aux bio-combustibles

- 1) établir le rapport coût/performance des procédés de fabrication d'un électrolyte céramique mince.
- 2) développer une anode performante, compatible avec HEXIS, et capable d'opérer à moins de 800 °C.
- 3) promouvoir l'installation des piles commerciales de 200 kW au gaz naturel.

b) Piles à l'hydrogène pur

- 1) tester les membranes aromatiques d'AVENTIS.
- 2) améliorer l'ergonomie des *Powerpack* de 100 W et tester un trimaran équipé d'un *Powerpack* de 300 W;
- 3) équiper & tester une embarcation lacustre électrique pour 4 passagers de [MW-Line](#) avec une pile de 2 kW.

4) adapter des petites piles (20 W) pour l'enseignement dans les écoles techniques & secondaires des trois régions linguistiques et récolter les premières expériences avec les élèves.

c) Accumulateurs & chargeurs intelligents

- 1) quantifier l'influence d'un *chargeur intelligent* sur la durée de vie des accumulateurs de voitures électriques.
- 2) démontrer, sur un minibus électrique, les performances du concept de charge par biberonnage de *supercondensateurs* (charge continue du module stationnaire/ recharge rapide du module mobile).
- 3) développer pour les *accumulateurs ions-lithium* des électrodes d'insertion mésoporeuses & des électrolytes sûrs
- 4) démontrer, sur un modèle fonctionnel de 10 Ah, le concept 3S (*Safe, Swiss, Scale-up*).

Travaux effectués & résultats obtenus

a) PILES AU GAZ NATUREL

1) Consortium "LowCost SOFC"

Ce Consortium [1] a été coordonné par [SULZER Innotec](#); y ont participé l'[EPF-Lausanne](#), l'[ETH-Zürich](#), et l'[EMPA-Thun](#). Il a comparé les coûts de fabrication à grande échelle de couches minces sur substrat poreux (pour une production de ¼ de million de pièces par an) par divers procédés, à savoir: [VPS](#) (*Vacuum Plasma Spray*), LPPS (*Low Pressure Plasma Spray*), PVD (*Physical Vapour Deposition*), AED (*Aerosol Electrostatic Deposition*).

De cette étude, il ressort qu'il suffit de *moins de dix jours d'opération pour rembourser l'énergie grise*. En termes financiers, la différence entre procédés est mince, car la part des coûts incompressibles, en personnel et en poudre, approche déjà 60% du total. Il est donc essentiel de choisir le procédé permettant d'obtenir les performances les plus élevées.

À partir de 250 mW/cm², un coût de fabrication de **1'000 CHF/kWh** est réalisable, soit 30% de moins que l'état actuel de la technique. Preuve à l'appui: sur un *mini-stack* alimenté en méthane reformé, des électrolytes PVD d'une épaisseur de 5 µm ont permis de réduire la température à 710 °C, tout en conservant une puissance surfacique de 250 mW/cm². L'efficacité de conversion en électricité était de 45%.

Le procédé AED n'a pas pu être amené à produire des éléments de la taille HEXIS (100 cm²). Son potentiel reste donc à démontrer. *Last but not least*, le diagnostic électrochimique des PEN suggère la possibilité de se passer de reformeur.

2) Consortium "Anode for SOFC"

Ce Consortium [2] a été coordonné par l'EMPA-Dübendorf; y ont participé l'EPF-Lausanne & l'ETH-Zürich. L'EMPA a évalué diverses techniques de fabrication de substrats céramiques poreux, pour l'anode. L'EPFL a étudié le comportement non-linéaire de la résistance électrique des électrolytes minces, de la taille de la microstructure de l'anode, et comparé les effets catalytiques de la composition de l'anode sur la chimie du *fuel*. L'ETHZ a modélisé et validé la dépendance de l'étendue de la zone de réaction anodique et étudié l'influence, sur l'impédance, des pressions partielles H₂ et H₂O.

3) Collectif "Chaleur-force au gaz naturel"

Le projet d'[AEB](#), à Birsfelden [3], intégrant une pile ONSI PC25C à un chauffage de quartier, approche de la réalisation (voir p. 22-8). Cette installation bénéficie d'un subside du Département américain de la Défense, correspondant à 0,04 CHF/kWh.

b) PILES À HYDROGÈNE PUR

1) Membranes aromatiques

La [HES-Granges](#) a testé diverses PEN, mises à disposition par AVENTIS [4]. Ces PEN comportaient une membrane aromatique de 110 cm² de surface, de 20 à 40 µm d'épaisseur, une charge symétrique de catalyseur et deux diffuseurs. Dans l'ensemble, la durée de vie et les performances obtenues à Granges sont nettement inférieures à celles obtenues à l'étranger par d'autres chercheurs. Le contrôle de qualité de ces nouvelles membranes n'est donc pas encore satisfaisant.

2) Consortium "Hydroxy"

Ce Consortium [5] a regroupé l'EIVD-Yverdon et le SILSE-Lausanne. L'EIVD a équipé d'un *Powerpack* de 300 W @ 12 V_{DC} H₂/air l'*Hydroxy300*, un trimaran de MW-Line. Grâce à son profil, la vitesse de croisière est de 12 km/h avec deux passagers à bord. Le *Powerpack* avait été développé au PSI et construit à la HES-Granges, dans la période 97-98.



Démonstration au solstice d'été, à Hergiswil

Les [SIL](#) ont, eux, amélioré l'ergonomie du contrôle des pédalos, équipés d'une pile PEFC H₂/O₂ de 100 W.

3) Consortium "Alpha"

Ce Consortium [6] a regroupé le PSI, à Villigen, et MW-Line, à Yverdon. Le [PSI](#) a rendu opérationnel sa pile H₂/air, qui délivre une puissance de 1,5 kW. Il l'a installée dans une embarcation lacustre électrique 4-places, type "α" de [MW-Line](#).

Projet originellement conçu pour l'EXPO.01, c'est le jour du retrait de celle-ci que le Consortium a organisé pour la presse une démonstration couronnée de succès (*voir en-tête*).

4) Enseignement

Les petites piles de 20 W d'[U. BOSSEL](#), à Oberrohrdorf, ont été adaptées aux besoins de l'enseignement [7], en particulier l'aspect ergonomique (voltmètre, lampe halogène 12 V, hydrogène en minicylindres d'hydrures métalliques). Malgré les retards dans la livraison des PEN par GORE, les six écoles techniques et secondaires sélectionnées (à Baden, Lausanne et Lugano) ont cependant reçu l'équipement; mais la récolte des premières expériences avec les élèves est reportée de quelques mois.

c) ACCUMULATEURS

1) Consortium "VEBILA" (*Verbesserung der Lebensdauer v. Batterien mit einem intelligenten Ladegeräte*)

Le Consortium VEBILA [8] s'est maintenant associé avec la commune de Wohlen. Coordonné par la [HES-Bienne](#), il a adopté, après le retrait de GLUR, à Münsingen, le chargeur intelligent 15 A @ 12 V de PRIMEPOWER, en Suède.

Une durée de vie de 7'500 km a été mesurée pour un accumulateur HAWKER-GENESIS sur une Mini-El.

2) Consortium "TOHYCO" (*TOtal HYbrid-Electric Concept*)

Ce Consortium [9] est coordonné par la [HTA-Luzern](#), et regroupe MONTENA, à Rossens, l'AfU-Luzern, BUSINESS, à Schaffhouse, BPS, à Luzern, WAMPFLER, à Weil, RHEINTALBus, PASOL, à Titterten et EARTH, à Thalwil.

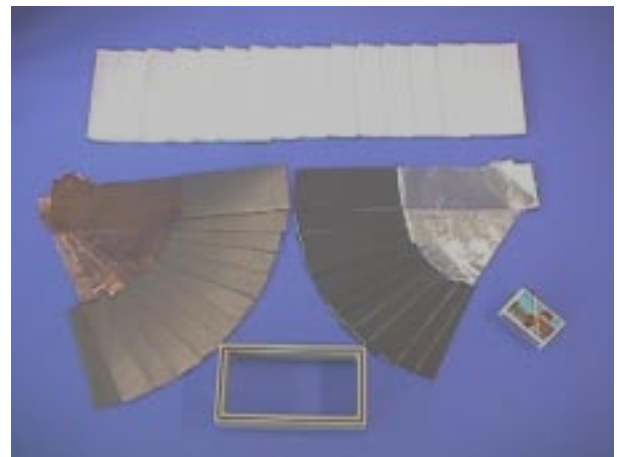
Le projet pilote est la mise en service d'un mini-bus à supercondensateurs sur la base du concept de charge par *biberonnage*, concept conçu et démontré par l'HTA-Luzern. Le bus attend d'être équipé. MONTENA va lancer la production des supercondensateurs.

3) Consortium "3S"

Le Consortium 3S (*Swiss, Safety, Scale-up*) [10] a été coordonné par le PSI, à Villigen; y ont participé : l'IIC/ETHZ, l'ITP & le LPI/[EPF-Lausanne](#), l'[UNI-Genève](#), l'[UNI-Fribourg](#), RUETSCHI à Grandson, TIMCAL, à Sins, RENATA, à Itingen, XOLIOX, à Eublens.

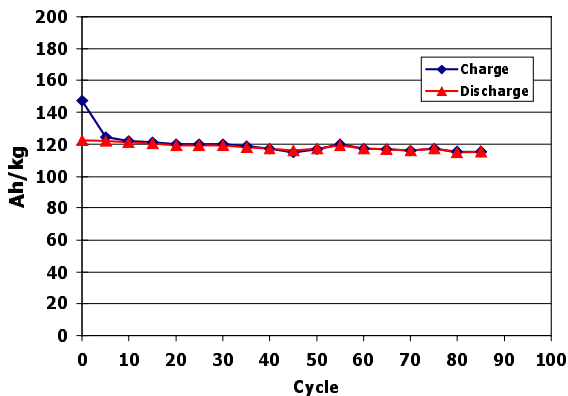
Son but stratégique a été la démonstration d'un accumulateur ion-lithium sûr et économique, basé sur du savoir-faire suisse et adapté aux véhicules électriques. Constatons que ce but est encore loin d'être atteint.

Paul [Rüetschi](#), qui a assumé l'accompagnement du projet, constate que, bien que le [PSI](#) ait réussi un *scaling-up* à 1500 cm² d'une **capacité de 12 Ah**, il l'a fait avec des composants commerciaux uniquement (graphite & LiMn₂O₄), sans utiliser aucun des nouveaux matériaux développés par ses partenaires: la masse des échantillons mise à la disposition du PSI, ne dépassait guère le gramme, alors que 100 fois plus aurait été nécessaire.



Les 1500 cm² d'électrodes du PSI

L'énergie massique de la batterie n'est que de 50 Wh/kg, mais le double serait possible avec un boîtier moins massif et des séparateurs plus minces. La perte de capacité est de 16% lors du 1^{er} cycle, mais se stabilise à 0.2% après 15 cycles.



À propos de "stabilité", il faut mentionner ici le *breakthrough* de l'[ETHZ](#) : la synthèse d'un alliage contenant de l'aluminium :



Il apparaît comme la matériau miracle pour la cathode des accumulateurs ions-lithium à haute-énergie!

Détrônera-t-il l'oxyde de cobalt, choisi par SONY malgré son prix, sa toxicité et son énergie massique trop basse ?

Transfert à la pratique

L'exécution des projets dans un cadre consorcial assure le transfert à la pratique du savoir-faire acquis. L'impact industriel est particulièrement visible dans les secteurs des piles au gaz naturel (SULZER HEXIS), des

supercondensateurs (MONTENA COMPONENTS & SCHINDLER AUFZÜGE) et des accumulateurs ions-lithium chez RENATA et XOLIOX.

Évaluation 1999

Grâce à une organisation consorcial efficace, il est maintenant démontré que même un petit pays, avec des moyens limités, mais unissant ses ressources multiculturelles, et ciblant soigneusement ses objectifs de recherche, peut devenir très compétitif.

1) Dans le secteur des **piles au gaz naturel & aux bio-combustibles**, l'originalité de la démarche suisse a permis d'établir le bilan d'énergie grise et la transparence des coûts de production. Cette maîtrise technologique stimule, entre autre, l'exploration de l'utilisation du **biogaz**.

Pour les piles basse-température, dont sont, par ex., équipées des embarcations lacustres électriques, l'alimentation en hydrogène s'avère onéreuse et peu

ergonomique, aussi le mélange **méthanol / eau** apparaît comme le combustible de substitution.

2) Dans le secteur des **piles à hydrogène**, le trimaran Hydroxy300 – avec son *mini-Powerpack* de 300 watts - a démontré les limites de l'*utilisation rationnelle de l'hydrogène*: cette application est tributaire du développement d'un stockage plus ergonomique

3) Dans le secteur des **super-condensateurs**, la multiplication des collaborations, visant à tirer profit de cette nouvelle technologie, est réjouissante.

4) Dans le secteur des **accumulateurs ions-lithium**, l'impact d'une activité de recherche, somme toute modeste, sur l'activité industrielle, est éloquent.

Perspectives 2000

a) Piles au gaz naturel & aux bio-combustibles

1) Etudier le comportement d'un *stack* "PVD" de 1 kW HEXIS et alimenté en biogaz (d'une STEP).

2) Analyser la composition des gaz dans l'enceinte anodique d'une PEN-CD "PVD" (*benchmarking*), et développer un distributeur de gaz performant.

3) Poursuivre le développement du procédé "AED" (*Aerosol Electrostatic Deposition*) pour la fabrication économique d'une PEN-CD, avec un électrolyte de 5µm et une anode poreuse.

4) Promouvoir l'installation des piles "PAFC" de 200 kW au gaz naturel.

5) Etudier, à titre exploratoire, le comportement d'une PEN "DMFC" pour un mélange 0.1 CH₃OH / 0.9 H₂O, en vue d'application à une navette lacustre.

b) Piles à hydrogène

- 1) Poursuite des tests sur les membranes "aromatiques" et essai d'intégration dans un *Powerpack* de 100 W comme objet de démonstration pour les étudiants.
- 2) Transfert du savoir-faire en maintenance des *Powerpacks* vers les HES le désirant.
- 3) Utilisation "exotique" des *Powerpacks*: dégivrage des miroirs aux carrefours des routes secondaires.
- 4) Exploration de l'intégration à l'anode d'un réservoir-tampon d'hydrogène constitué de nanostructures de carbone dopé.
- 5) Evaluation du Programme éducatif pilote, dans les écoles professionnelles (TP des apprentis électriciens).

c) Accumulateurs et chargeurs intelligents

- 1) Poursuite de l'évaluation de l'influence des chargeurs intelligents sur la durée de vie des accumulateurs.
- 2) Mise en opération d'un minibus équipé de supercondensateurs alimentés par biberonnage.
- 3) Création d'un réseau de promoteurs d'applications des supercondensateurs.
- 4) Démonstration des performances de l'alliage "3S" de l'ETHZ dans un modèle fonctionnel d'accumulateur ions-lithium d'au-moins 20 Ah.

Liste des projets

PILES AU GAZ NATUREL & AUX BIO-COMBUSTIBLES

- [1] **Consortium "Low Cost SOFC"**
K. Honegger, [SULZER Innotec-Ob.Winterthur](#), A. McEvoy, [EPF-Lausanne](#), L. Gauckler, [ETH-Zürich](#), K. Barthel, [EMPA-Thun](#)
- [2] **Consortium "Anode for SOFC"**
B. Gut & al.: [EMPA-Dübendorf](#), A. McEvoy et al: [EPF-Lausanne](#), L. Gauckler & al.: [ETH-Zürich](#)
- [3] **"Nahwärmeversorgung mit Brennstoffzelle Typ ONSI PC 25C in Birsfelden"**
S. Renz : [THOMA+RENZ-Basel](#)

PILES À HYDROGÈNE

- [4] **"Small PEFC PowerPacks Family"**
I. Popelis, [HTA-Grenchen](#)
- [5] **Consortium "HYDROXY"**
F. Affolter & al.: [EIVD-Yverdon](#) & P. Favre & al.: [SILSE-Lausanne](#)
- [6] **Consortium "ALPHA"**
F.N. Büchi et al.: [PSI-Villigen](#) & M. Wüst et al: [MW-Line-Yverdon](#)
- [7] **"Demonstration des Brennstoffzelle in Gymnasien und Berufsschulen"**
U. [BOSSEL](#) - *Oberrohrdorf*:

ACCUMULATEURS & SUPERCONDENSATEURS

- [8] **Konsortium "VEBILA"** (Verbesserung der Lebensdauer von Batterien mit einem intelligenten Ladegerät)
K. Meier-Engel, et al.: [HTA-Biel](#)
- [9] **Konsortium "TOHYCO"**
V. Härrli, et al.: [HTA-Horw](#)
- [10] **Consortium "3S"** (Swiss, Safety, Scale-up)
P. Novák & al.: [PSI-Villigen](#), R. Nesper & al.: [ETH-Zürich](#), H. Hofmann & al.: [EPF-Lausanne](#), J. Augustynski & al.: [UNI-Genève](#), C. Daul & al.: [UNI-Fribourg](#), P. [Ruetschi-Grandson](#).

Postface

Avec la pose sur sol helvétique de la première pile à caractère commercial, en présence des représentants d'*Alternative-Energie-Birsfelden*, le chef de programme tire sa révérence...



Retour dans le futur

Coordonnées: N 47°33'19"/ E 7°37'22"/ 2000/ 03 / 16 / 10:59 (Photo: M. Rügsegger)