

ALASetudetractertrainparenergieelectriqueapartirdepileacombustible091218

Note sur l'entraînement de trains par Energie Electrique produite par piles à combustible embarquées utilisant l'hydrogène issu de l'électrolyse de l'eau.

1--- Hypothèse de départ :

La production d'hydrogène par réformage catalytique d'un hydrocarbure, méthane ou autre issu du raffinage du pétrole, est écartée dans cette étude parce qu'elle part de l'hypothèse qu'il faut diminuer au maximum l'importation de combustible fossile. Ne reste donc pour la production d'hydrogène que l'électrolyse de l'eau et pour la traction électrique que la pile à combustible et les batteries de stockage d'électricité à courant continu

De ce fait resteront en concurrence :

La ligne de chemin de fer électrifiée et

La ligne non électrifiée mais avec la traction électrique issue de la pile à combustible.

Nous prendrons comme exemple la ligne : NICE DIGNE ST AUBAN VEYNES GRENoble GENEVE.

2--- Etude Théorique NICE ST AUBAN

2.1--- Puissance électrique de traction : 550 kW

Temps de parcours : 3h

Soit en énergie consommée 550×3 plus 7 démarrages que l'on peut aider par une batterie suivi du convertisseur en courant alternatif avec commande de variation de fréquence depuis le poste de conduite du train.

Consommation d'énergie sur le parcours NICE ST AUBAN :

$550 \times 3 + 7 \times 700 \times 30 / 3600 = 1650 + 40.8 = 1690.8 \text{ kWh}$ arrondis à 1700 kWh (sachant que les batteries seront chargées par le réseau électrique, on peut écrire que la quantité 1700 kWh est par excès l'énergie nécessaire à ce parcours.

2.2--- Quantité d'hydrogène nécessaire pour produire cette énergie.

Pour décomposer l'eau il faut 56690 kcal/kmol ou $56690 / 860 = 65.9 \text{ kWh/kmol}$.

Il faudra par la loi de Faraday $2 \times 96500 / 3600 = 53.6 \text{ kAh}$;

La tension théorique sera $V = 65.9 / 2 \times 53.6 = 1.23 \text{ V}$ (pratiquement il faudra 2.15V 1kmol de H₂ équivaut à 22.4 Nm³)

Théoriquement il faudrait donc introduire dans la pile à combustible pour parcourir le trajet NICE ST AUBAN $1700 \times 65.9 / 22.4 = 5001 \text{ Nm}^3$ de H₂

Pour 1 AR il faudra charger sur les bouteilles du bord : 10002 Nm³.

Pour 4 aller et retour NICE ST AUBAN il faudra 8 fois 5001 soit

$8 \times 5001 = 40008 \text{ Nm}^3$ par jour ;

2.3--- Choix du lieu de l'électrolyse de l'eau à 3g/l environ de KOH. **ST AUBAN**

2.4--- Production horaire de H₂ à pression gazométrique 1667 Nm³/h

2.5--- Volume théorique du Gazomètre : 10.000 m³ et

Volume pratique : 10000 m³

2.6--- En première approximation et en considérant que les trois trajets NICE ST AUBAN puis ST AUBAN GRENOBLE puis GRENOBLE GENEVE sont semblables on peut dire que les trois productions et stockages d'H₂ à placer à ST AUBAN puis à GRENOBLE puis à GENEVE sont semblables et que seront placés 1 gazomètre de 10000 m³ dans chaque centre de production de H₂.

2.7--- Définition du matériel nécessaire pour 1 centre de production de H₂

2.7.1--- Production et stockage de H₂ :

Il faut le matériel principal suivant

2.7.1.1--- deux batteries d'électrolyse capables chacune de 5001/6h = 833.5 Nm³ de H₂ ; (1 en service et 1 en réserve pour assurer le service durant les arrêts pour maintenance), avec scrubber à eau de contact pour refroidissement de l'Hydrogène avec garde d'eau. La pression existant dans les cellules sera égale à environ : la garde d'eau du scrubber à laquelle s'ajoutera la pression exercée par la cloche du gazomètre (cette cloche peut être a un ou deux étages mais dans le cas de l'hydrogène stocké on choisira une cloche simple avec des rails guides verticaux).

2.7.1.2--- une installation de déminéralisation de l'eau capable de 1m³ / h environ d'eau (à mieux étudier dont la salinité doit être bien connue pour chaque centre) .

2.7.1.3--- un stockage d'eau déminéralisée de 10 m³ calorifugé pour éviter le gel avec serpentin de maintien intérieur)

2.7.1.4--- un stockage sous abri de KOH

2.7.1.5--- 1 gazomètre à eau de 10000 m³ et son équipement anti gel (pompe de circulation de l'eau avec échangeur de réchauffement anti gel)

2.7.1.6--- 1 compresseur pour envoi du gaz H₂ vers les bouteilles de stockage embarquées sur machine de traction (1 en service et 1 en réserve) avec les tuyaux flexibles de chargement d'H₂ sur les machines de traction. Pression de service 350 bar

2.7.1.7--- 1 dégazeur thermique d'eau déminéralisée à vapeur saturée de 1.5 bar effectif . Volume du dégazeur à étudier

2.7.1.8--- 1 chaudière électrique de vapeur 3.5 bar 3 t/h et son équipement : pompe d'alimentation (2 pompes une en service et une en réserve)

2.7.1.9--- Salle de contrôle avec petit labo de contrôle eau et H₂. Petit atelier d'entretien. Sanitaire plus douche et vestiaire. Salle pour prise des repas.

2.7.1.10--- Poste d'alimentation électrique avec le transformateur et le comptage plus le poste de convertisseur Alternatif Continu (filtres électriques)

2.7.1.11--- Poste d'arrivée d'eau avec comptage

2.7.1.12--- Poste de comptage de volume de H₂ avec filtre et robinetterie.

2.7.1.13--- Lot de pièces de rechange installées dans un local pièces de rechange plus flexibles plus électrodes de rechange .

2.7.1.14--- Clôture

2.7.1.15--- Parking de voitures avec poste de chargement véhicules

Il faut de plus

- Tuyauterie Eau , Vapeur et Hydrogène, tuyauterie inox pour eau déminé et dégazée
- Câblage électrique de puissance vers l'électrolyse
- Câblage électrique des pompes et compresseurs.
- Eclairage : câblage et appareillage
- Poste de chargement des batteries embarquées sur le train
- Egouts d'évacuation d'eau usée .
- Egouts d'évacuation d'eau de pluie.
- Téléphone filaire et internet ;

2.7.2--- Equipement en matériel principal des voitures de traction avec pile à combustible. Le schéma de la note de Claude Jullien Autorail à Hydrogène de ALSTHOM est à prendre en considération puisque le matériel existe les puissances à mettre en œuvre pour NICE GRENOBLE GENEVE sont à reconsidérer. (550 kW). Il semble que la pile à combustible comporte le surpresseur qui envoie l'air (c'est-à-dire l'oxygène nécessaire) sur l'anode. Il faut donc un surpresseur en service et un en réserve ainsi qu'un filtre à l'aspiration . Pour le filtre il faut un filtre en service et un filtre en réserve ? Deux vannes papillon sont nécessaires à l'entrée et à la sortie de chaque filtre .

L'estimation des installations de production et stockage pour NICE ST AUBAN VEYNES GRENOBLE GENEVE doit être faite pour la traction composée pile à combustible batterie ; et la traction purement électrique avec caténaire .

L'estimation comprends

Matériel principal :

- 8 réservoirs d'hydrogène à 350 bar (voir note Claude Jullien « Autorail à Hydrogène)
- Pile à hydrogène
- Convertisseur continu hâcheur élévateur
- Batterie lithium pour les démarrages
- Convertisseur continu triphasé pour alimenter deux moteurs asynchrone .

Le total de l'investissement sera : **3 x (2.7.1 + 4 x 2.7.2)** et ce pour la ligne NICE DIGNE ST AUBAN VEYNES GRENOBLE GENEVE

DISCUSSION : La comparaison des coûts en amortissement du capital investi et exploitation plus entretien reste à faire Bien entendu cela dépendra des capacités électriques dans chaque cas . Il est à prévoir que la solution de traction par pile à Hydrogène nous contraint à un coût d'investissement bien plus élevé que la solution par énergie électrique directe. Dans l'état actuel en France avec une production d'énergie électrique sans production de gaz à effet de serre par la voie nucléaire, la solution de l'utilisation de cette énergie directe reste je pense la plus probable.

Ci-joint un plan d'une batterie d'électrolyse de l'eau . . Ce schéma est issu du VANCINI (la sintesi dell'ammoniaca de 1951).

Remarque : dans cette description de matériel de tuyauterie et de câblage chaque installation ne possède qu'un seul gazomètre . Cela veut dire que quand un gazomètre est en visite d'entretien la ligne de la portion est à l'arrêt. Heureusement un gazomètre bien entretenu n'est pas à l'arrêt pour visite et entretien comme un appareil à pression. Dans le cas des anciennes usines à gaz où il fallait que le service de gaz de ville ne soit jamais interrompu , la présence de deux gazomètres était nécessaire.

--- Dans le cas étudié NICE GRENOBLE GENEVE par DIGNE LES BAINS, il n'a pas été tenu compte du fait que la portion GRENOBLE GENEVE est une ligne déjà électrifiée.

--- Dans cette note n'ayant pas d'exemple d'exploitation industrielle de production d'électricité à partir de pile à Hydrogène je n'ai pas pu faire de bilans énergie sérieux de cette dernière. Cela dit on peut continuer d'affirmer que la plie à Hydrogène reste beaucoup plus lourde en investissement et en matériel que la simple électrification classique d'une voie de chemin de fer.