

Site : Les Ancizes

Direction /Service : R&D Elaboration

Date : 26 Octobre 2018

Émetteur : E. DORIDOT

Destinataire(s) : J. Escaffre

Copie(s) : Membres du Comité technique, R. Allier, J. Lecadet

Objet : Note DPE-18-2795

Compte-rendu essais réduction de la vitesse au PAM (pt au 26 Octobre 2018)

I. Introduction :

En vue de réduire le dégazage au four VAR de l'hydrogène, il a été décidé d'essayer de réduire la teneur en hydrogène des électrodes élaborées au PAM.

Lors de la fusion PAM, l'hydrogène contenu dans la charge est partiellement dégazé. Il ne peut totalement être dégazé car un équilibre se crée entre l'hydrogène soluble dans le métal liquide et l'hydrogène contenu dans l'hélium. Ce phénomène est régi par la loi de Sieverts.

La publication de Pomarin et Grigorenko permet de calculer la solubilité de l'hydrogène dans le TA6V liquide en fonction de la pression partielle d'hydrogène et de la température du métal liquide. Plus la pression partielle d'hydrogène est élevée, plus la solubilité de l'hydrogène dans le métal est grande. Plus la température du métal liquide est grande, plus la solubilité de l'hydrogène est faible (fig.1)

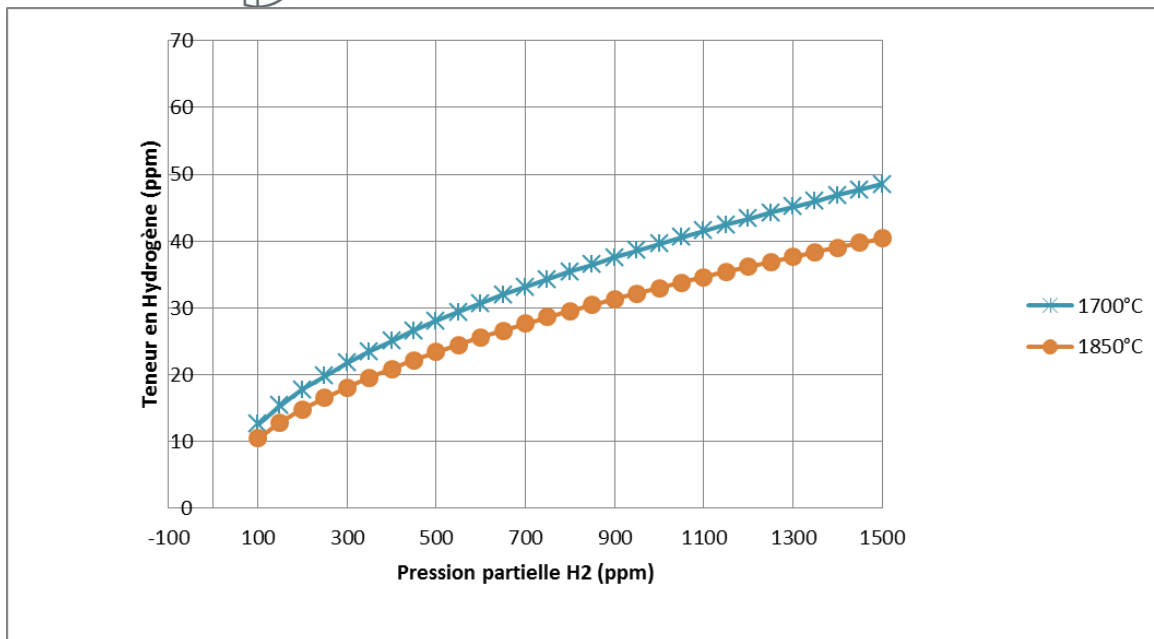


Figure 1: Solubilité de H₂ dans le TA6V liquide en fonction de la pression partielle de H₂ et de la température de métal liquide

Pour agir sur le dégazage au four PAM on peut :

- Augmenter la température du métal liquide notamment par augmentation de la puissance des torches,
- Diminuer la pression partielle en augmentant le débit d'He propre (0ppm d'H₂), c'est-à-dire en diluant,
- En diminuant la vitesse de fusion (flux d'hydrogène entrant moindre, débit He conservé revenant à diluer l'hydrogène dans l'He).

Chez EcoTitanium, il a été décidé :

- Optimiser les patterns des torches 3 et 4 afin de permettre une augmentation de puissance et donc d'augmenter la surchauffe du métal bien qu'il soit difficile à l'heure actuelle de prédire quel est le gain,
- Réduire la vitesse de fusion afin de diminuer la pression partielle d'H₂.

Ces modifications ont fait l'objet de 3 fusions PAM et des refusions consécutives (OF10360, 10361 et 10372).

La réduction de la vitesse de fusion a aussi été réalisée chez Metafensch et ces essais confirment bien la possibilité de réduire la pression partielle d'hydrogène en diminuant la vitesse de fusion.



II. Evolution de l'hydrogène lors du préchauffage du skull

Le préchauffage de skull dure 2 heures pendant lesquelles le régime thermique est stabilisé et où n'est effectué aucun nouvel apport de matière. On peut ainsi y mesurer l'effet du renouvellement de l'atmosphère par de l'He propre sur le dégazage de H₂.

Par exemple sur la fusion OF10372 /E00061, l'hydrogène en début de préchauffage est de 372ppm et décroît 2h après à 155ppm. Dès que de la matière est de nouveau enfournée, on observe une brusque remontée de l'hydrogène (environ 550ppm, voir graphe suivant) :

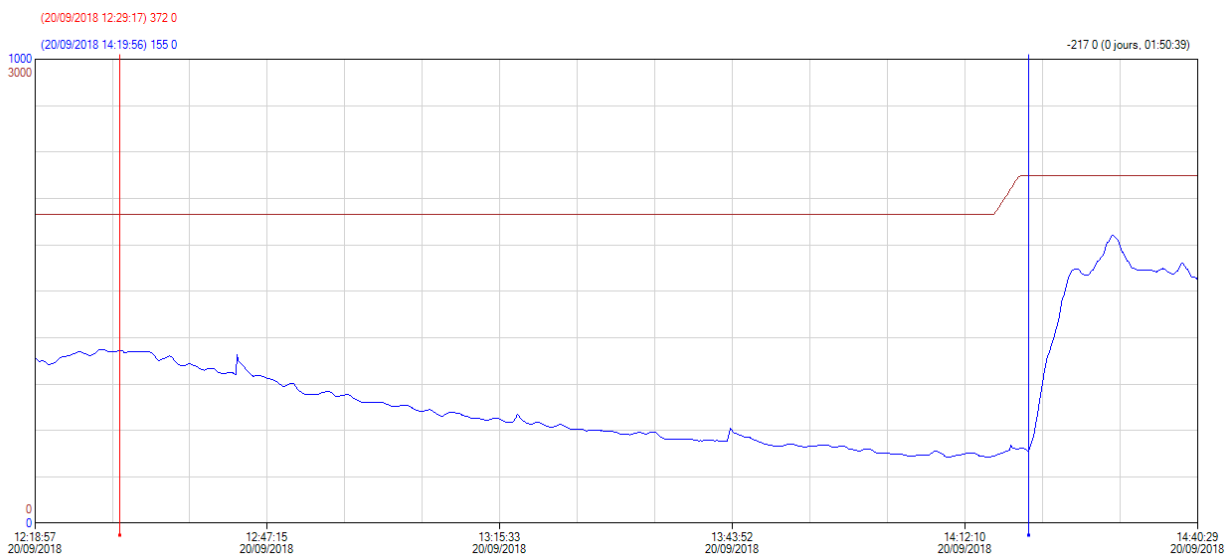


Figure 2: Evolution de l'hydrogène au four PAM lors du préchauffage du skull SK00024 avant réalisation de l'électrode E00061/OF10372

La baisse en pression partielle permise par le renouvellement de l'He doit permettre, selon la loi de Sieverts, de baisser la teneur en H₂ du métal liquide par dégazage.



III. Fusions PAM

Trois fusions PAM ont été réalisées à une vitesse de 700kg/h avec des patterns en cours d'optimisation (consigne avant essais 1t/h). On observe une augmentation de la puissance de la T4 permise par la modification et la synchronisation des patterns (voir tableau suivant).

OF/ n° électrode	Type de charge	Vitesse de fusion moyenne régime (kg/h)	T3 (puissance régime kW)	T4 (puissance régime kW)	H2 ppm (moyenne sur toute la fusion)
OF 10372 / E00061	Briquettes	693	709	725	694
OF 10360/ E00058	Massifs	710	710	818	247
OF 10361 / E00062	Briquettes	694	697	834	651

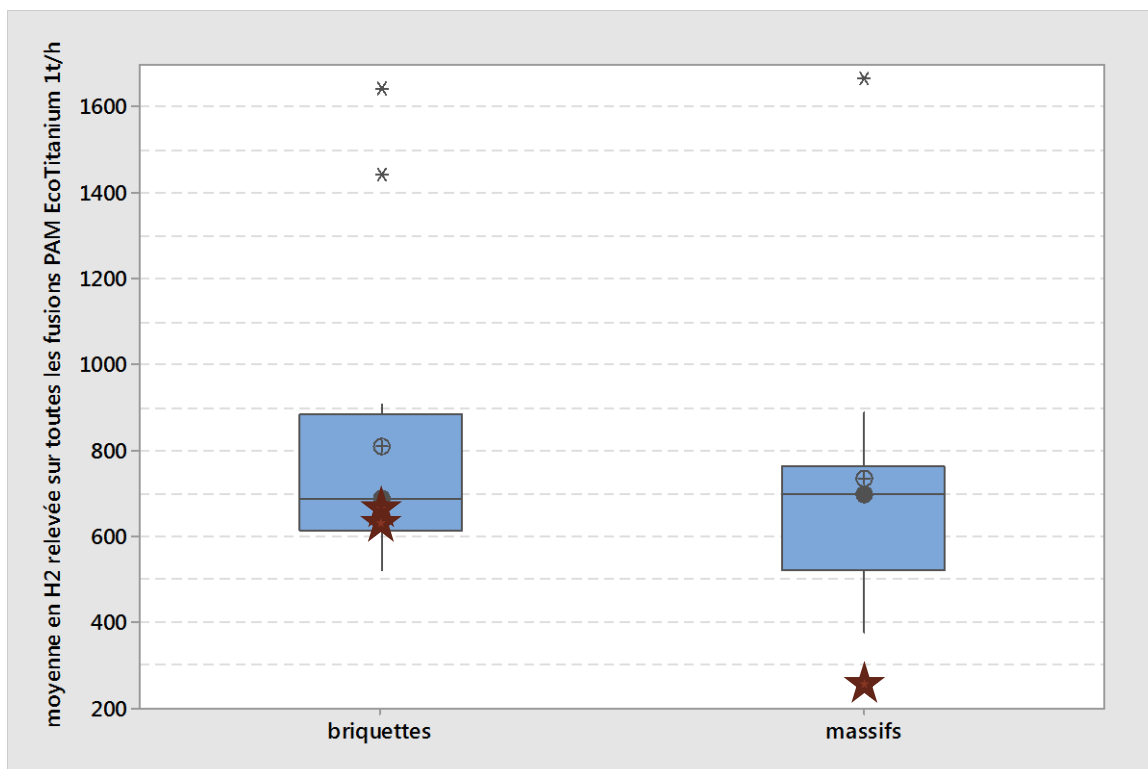


Figure 3: Pression partielle H₂ moyenne pendant les fusions PAM à 1t/h (point noir : médiane, croix : moyenne, boîte : écart interquartile regroupant 50% des données de part et d'autre de la médiane), en rouge les 3 fusions réalisées à 700kg/h.

Les modifications apportées ont été très efficaces pour réduire la pression partielle de H₂ (et donc la teneur en H₂ de l'électrode) dans le cas de la charge de massifs (fig. 3). On constate une baisse d'environ 60% de la pression partielle par rapport à la moyenne des fusions 1t/h de massifs.



Dans le cas des briquettes, on constate que la pression partielle observée se trouve dans les 50% de valeurs inférieures à la médiane des fusions réalisées à 1t/h (fig3). Le gain est moins intéressant bien qu'on ait effectivement baissé la vitesse de fusion et augmenté la puissance de la T4 (baisse entre 12 et 20% de la pression partielle par rapport à la moyenne des fusions 1t/h briquettes).

Au niveau de la constitution des charges, l'hydrogène vient principalement des matières recyclées. Les copeaux sont plus riches en hydrogène que les chutes car les copeaux sont issus de la périphérie des billettes/pièces. Les charges de massifs sont intrinsèquement moins riches en hydrogène car il y a moins de copeaux (12% dans le cas de la charge 10360 contre 62% dans le cas des charges 10372 et 10361). Cependant cela ne suffit pas expliquer cette différence notable de comportement.

Plusieurs causes ont été identifiées :

- L'âge des charges (reprises d'humidité car conservées longtemps à l'air, plus important dans le cas des charges de briquettes car la surface spécifique de la charge et plus importante et que la quantité d'éponges est aussi plus importante (MgCl hygroskopique))

OF	Date fabrication charge	Date fusion PAM
OF 10372 / E00061	Début le 3/07/2018, nombreuses reprises de charges suite à arrêt de fusion (notamment pour fuite d'eau)	20/09/2018
OF 10360/ E00058	10/07/2018	21/09/2018
OF 10361 / E00062	19/07/2018	25/09/2018

- La possibilité d'une micro-fuite d'eau pendant les charges de briquettes car échauffement plus prononcé du primary feeder lors de l'utilisation du vibrant.

Le dépouillement complet de l'évolution de la pression partielle fonction de la vitesse ainsi que des lots de matières recyclées utilisés est en cours. On observe parfois des différences de pressions partielles pour une même vitesse de fusion qui pourraient être liées à un changement de lot de copeaux.

Par exemple sur l'OF 10372, on observe une brusque augmentation de pression partielle de H2 lors de la fusion des batchs 11 à 15 alors que l'on constate une baisse de la vitesse de fusion pendant cette période. Cela correspond à un changement de lot de copeaux (fig. 4).

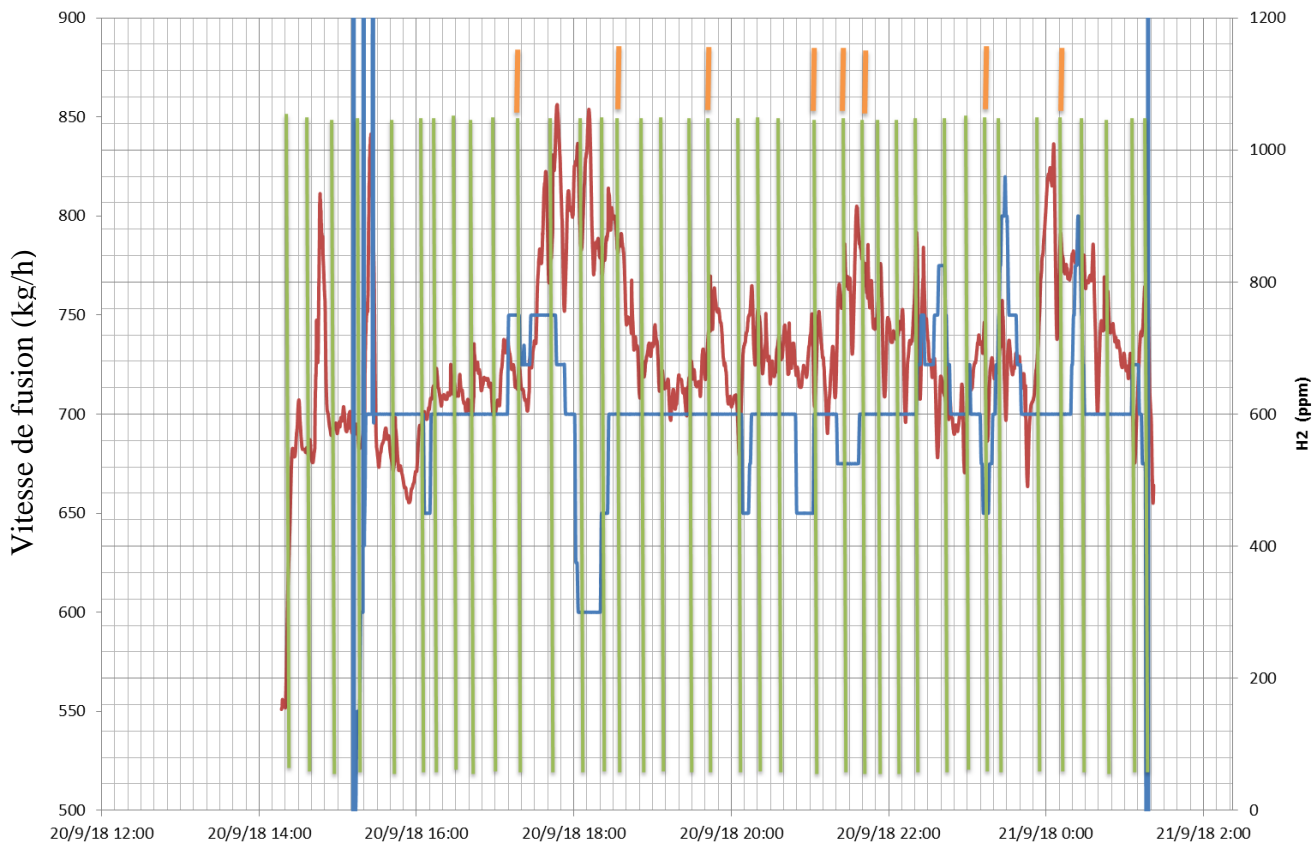


Figure 4: Vitesse de fusion et pression partielle H2 OF10372, (traits verts : engagement d'un nouveau batch dans le vibrant, traits orange : changement de lot de copeaux)

IV. Refusion

Deux refusions ont été réalisées avec la même norme, similaire à celle utilisée par UKTMP (30,5V, 12.5kg/min avec un brassage alterné 5s à 25A). La troisième s'est arrêtée suite à un problème technique et n'est pas exploitable (l'électrode a été récupérée et sera refondue ultérieurement).

On constate les qualités de peau suivantes :

OF	Observations
OF 10360	double peau, coulures mais ensemble semble avoir été plus chaud en périphérie, meulage en 3 passes.
OF 10361	double peau, meulage 3 passes.



Figure 5: peau du lingot OF10360



Figure 6: peau de lingot OF10361

On observe les pressions VAR suivantes :

OF	Pression moy. (mbar)	Pression max (mbar)
OF10360	0.019	0.090
OF10361	0.031	0.11
OF10372	-	-

Conformément aux résultats de pression partielle H₂ PAM obtenus, une faible pression partielle dans le cas de la charge de massifs permet d'obtenir une faible pression VAR. Cependant on constate toujours une double peau.

Pour la charge de briquettes, on obtient une pression VAR moyenne pour ce type de charge (fig.7).

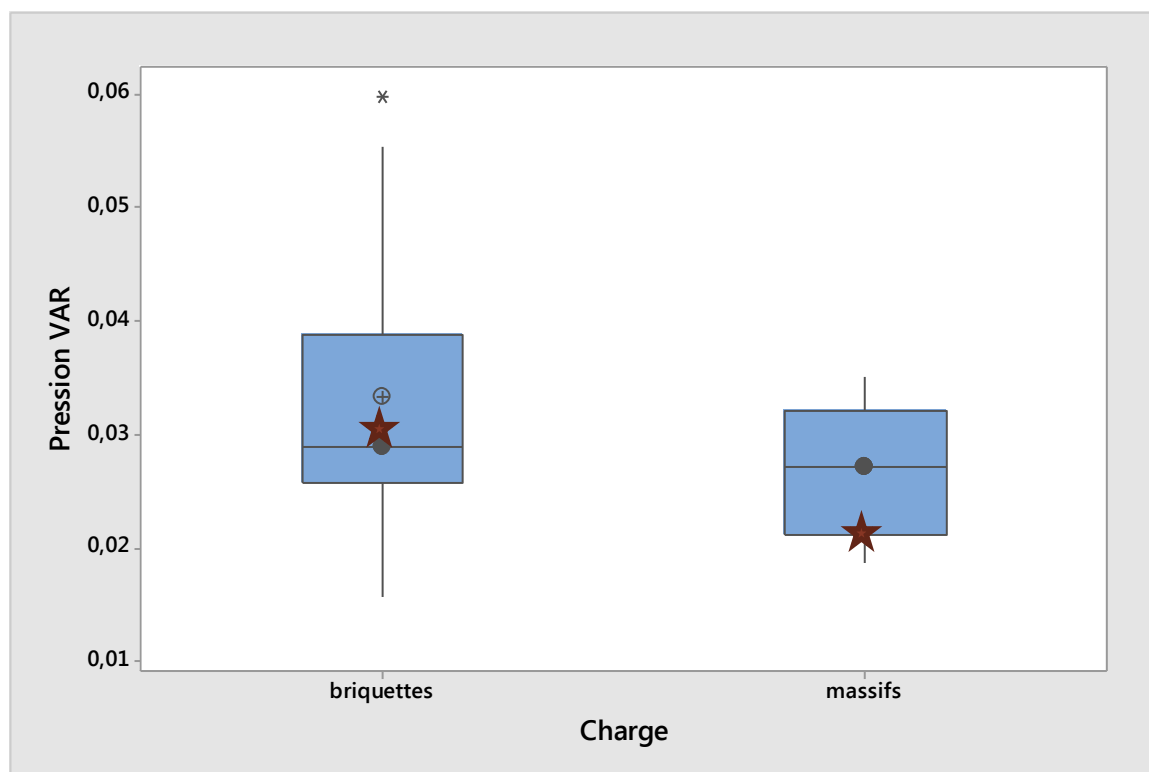


Figure 7: Distribution des Pression VAR pour les fusions 1t/h (étoiles : fusion 700kg/h)

L'évaluation de la profondeur suite au meulage a été faite pour le premier lingot (OF 10360, faible pression). On évalue une profondeur de défaut max comprise entre 30 et 40mm (selon les deux dernières passes de meulage, contrôle ressuage ok après la dernière passe).

Pour mémoire, le dernier lingot IFA (OF10359) a dû aussi subir un meulage pour arriver à fond de défaut (consigne de meulage équivalente) montrant une profondeur de défaut maximale comprise entre 40 et 55mm. La pression partielle de H₂ entre les deux fusions a été divisée par deux et la pression résultante au



VAR montre une baisse de 24%. On constate des défauts moins profonds pour la plus faible pression. Cependant la profondeur de défauts entraîne toujours une MAM importante.

OF	Pression H2 (ppm)	Pression VAR (mbar)	Type de charges	Profondeurs défauts (mm)
10359	529	0.025	Massifs	30-40
10360	247	0.019	Massifs	40-50

V. Conclusion

La baisse de la vitesse de fusion entraîne bien une baisse de la pression partielle de H₂ :

- - 60% dans le cas des massifs,
- -12 à -20% dans le cas des briquettes.

La différence d'efficacité entre les deux différents types de charges est peut-être due :

- Au long stockage à l'air plus impactant dans le cas des briquettes,
- A une micro fuite lors de l'utilisation du vibrant.

Cependant des premières observations indiquent qu'il est intéressant de comparer les lots de copeaux et leurs résultats en termes de pression partielle de H₂.

Au niveau de la refusion, les deux premières électrodes ont été refondues. Une faible pression partielle de H₂ permet bien de réduire la pression VAR. A première vue, cela permet aussi de réduire la profondeur de défauts.