

# **Utilisation de la réconciliation multi-périodes du logiciel VALI appliquée au secteur de la production et de l'extraction du pétrole**

Ing. T. JADOT  
Ir C. CHARLIER  
Ph.D R. CHARES  
GRAMME – Liège

*L'industrie de l'extraction et de la production du pétrole éprouve un manque de mesures important sur ses installations offshore, par exemple pour l'allocation de la production totale à leurs différents puits ou encore pour le recalibrage de ses capteurs. Ce travail montre que la validation et la réconciliation de données offertes par le logiciel VALI de l'entreprise belge Belsim offrent une solution efficace à ces deux problèmes.*

*Mots-clefs: Réconciliation multi-périodes, validation, Upstream, VALI, Belsim*

*The Upstream oil industry is affected by a great lack of measurements on its offshore platforms as for example for the back-allocation the total production to each of its different wells or for the recalibration of its sensors. This work shows that the data validation and reconciliation brought by the VALI software, developed by the Belgian company Belsim, offers an efficient solution to both of these problems.*

*Keywords: Multi-run reconciliation, validation, Upstream, VALI, Belsim.*

## 1. Introduction

L'industrie du pétrole nécessite un perpétuel développement technologique en vue d'améliorer la rentabilité de ses installations et d'ainsi augmenter les bénéfices opérés sur les champs pétroliers. La connaissance des procédés et de l'état des installations est dès lors un élément crucial à la bonne gestion de ces dernières.

Malheureusement, ces données ne sont pas toujours disponibles. Le secteur de l'extraction et de la production du pétrole (E&P), aussi appelé secteur de l'Upstream, éprouve par exemple un grand manque de mesures sur ses installations en mer, en raison des conditions difficiles rencontrées sur ce genre de plateforme. Le fait que les puits se trouvent sous l'eau rend les différentes technologies de mesure très onéreuses, sans pour autant être précises car sujettes à des déviations. Leur entretien régulier peut d'ailleurs s'avérer très coûteux pour l'entreprise.

Un des besoins les plus criants du secteur de l'Upstream offshore réside par exemple dans la capacité d'allocation d'une partie de la production totale d'une plateforme aux différents puits qui la composent. Il est en effet important de connaître sur une installation quel puits produit quoi et en quelle quantité. Une alternative à l'utilisation de capteurs de débit multiphasiques, appelés MPFM<sup>1</sup> et qui donnent les débits d'huile, de gaz et d'eau passant au travers du puits, est l'utilisation d'un logiciel de modélisation. Un tel logiciel permet de représenter un puits et d'en calculer les paramètres à l'aide de mesures sur l'installation et des équations régissant son fonctionnement.

C'est ce que propose de réaliser le logiciel VALI, créé et développé par l'entreprise belge Belsim située à Awans dans la Province de Liège. VALI est un logiciel de validation et de réconciliation de données (DVR<sup>2</sup>) orienté vers le secteur de l'industrie chimique. L'utilisation de la DVR signifie qu'en plus d'utiliser les différentes mesures fournies au modèle, celles-ci vont être recalculées et leur valeur critiquée de manière statistique. Cette

---

<sup>1</sup> Multi Phase Flow Meter

<sup>2</sup> Data Validation and Reconciliation

critique des données, possible nous le verrons grâce à la redondance d'informations dans le modèle, permet donc également de vérifier et corriger un éventuel biais présent sur un MPFM. Si cette technologie est installée sur le puit, elle s'avère être une alternative bon marché au recalibrage des capteurs.

## **2. Réconciliation de données**

Dans beaucoup de secteurs de l'industrie, une vue de l'intérieur d'un procédé est un atout indiscutable pour aider le mécanisme de prise de décisions. Elle permet par exemple de surveiller la rentabilité d'une ligne, de planifier une maintenance quand cela s'avère nécessaire, etc.

Cette vue de l'intérieur du procédé est essentiellement fournie par des capteurs sur les installations. Malheureusement, toute mesure est soumise à une erreur sur sa valeur, et une mesure inadéquate pourrait conduire à la prise de mauvaises décisions.

La réconciliation de données, ou DVR, permet de palier à ce problème en vérifiant la validité des données d'un modèle en les recalculant de manière à ce qu'elles respectent les diverses équations régissant le modèle. Ce calcul mathématique permet d'apporter à ces données plus de fiabilité. La base du logiciel VALI est constituée d'un solveur d'équations basé sur cette méthode statistique.

Outre le fait de corriger les mesures insérées dans le problème, VALI est également capable de calculer d'autres données jusque là non mesurées, ce qui permet d'avoir une meilleure image du procédé étudié.

### **2.1 Conditions d'application**

Pour que la DVR soit applicable, il est nécessaire de respecter certaines hypothèses de départ :

- premièrement, le procédé étudié est supposé être en état stationnarisé, car en travaillant sur une image trop instantanée du procédé, les effets transitoires pourraient causer des instabilités pour le calcul statistique.

- Deuxièmement, les erreurs présentes sur les capteurs sont supposées être des erreurs aléatoires et avoir une distribution normale autour de la valeur vraie. Les biais, constituant une erreur systématique de mesure, ne peuvent être corrigés statistiquement.
- Troisièmement, il doit y avoir une redondance globale d'informations sur le procédé et une redondance locale d'informations sur les unités représentées. La redondance est le nombre de mesures additionnelles ajoutées aux mesures nécessaires pour calculer un système mathématique, c'est-à-dire un système où l'on a autant d'équations que d'inconnues.

Exemple :

Le nombre minimum de mesures pour calculer tous les débits ( $Q_i$ ) du problème suivant est 2.

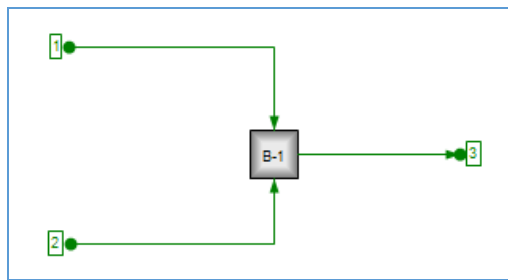


Figure 1 : Exemple d'un mixeur de débits

En effet, l'équilibre massique autour de l'unité nous donne :

$$Q_1 + Q_2 = Q_3$$

Connaissant cette équation et deux mesures, il nous est possible de calculer le troisième débit. Le calcul est dans ce cas un calcul de simulation. Si par contre les trois débits sont mesurés, le problème aura une redondance de 1 et un calcul de réconciliation sera possible.

## 2.2 Principe théorique

La DVR utilise plusieurs grandes sources de données :

- le modèle et les équations qui le régissent (équation de pompe, échanges thermiques, pertes de charge, etc.).
- Les mesures sur l'installation (pression, températures, débits, etc.).
- Les bilans (masse, énergie, etc.).

Un écart type  $\sigma$  est donné à chaque mesure pour représenter l'erreur sur ces mesures. L'idée de la DVR est de recalculer et corriger chacune des mesures pour qu'elles respectent les contraintes du système : équilibres de masses, équilibres d'énergie, équilibres de pression, lois thermodynamiques, etc.

Les corrections de mesures doivent normalement être les plus petites possibles et tenir en compte la confiance mise dans ces mesures représentées par  $\sigma$ .

La représentation mathématique de ce principe est la suivante :

$$\text{Min} \sum_i \left( \frac{y_i^* - y_i}{\sigma_i} \right)^2$$

*subject to*  $F(y_i^*, x_i) = 0$

$y_i^*$  est la valeur réconciliée de la mesure  $i$ ,

$y_i$  est la valeur mesurée de la mesure  $i$ ,

$\sigma_i$  est l'écart type sur la mesure  $i$ ,

$F(y_i^*, x_i)$  représente les contraintes et les lois du procédé,

$x_i$  est une valeur non mesurée et qui sera calculée.

### 2.3 Réconciliation multi-périodes

Comme expliqué précédemment, la réconciliation de données est basée sur la redondance d'informations dans le problème. Sans redondance, il est impossible de critiquer les valeurs données par les mesures.

Dans certains procédés, le modèle ne possède cependant pas assez de capteurs et cette redondance ne peut être atteinte.

L'idée de la réconciliation multi-période est d'aller chercher cette redondance en utilisant plusieurs jeux de données pris à des moments différents. Les runs<sup>3</sup> sont alors calculés simultanément avec des liens temporels reliant certaines variables du problème à calculer et sensées être constantes ou suivre une loi dans le temps.

---

<sup>3</sup> Un run est un calcul effectué sur base d'un jeu de données.

Ainsi, on palie au manque d'informations sur le procédé, et donc à une redondance insuffisante pour la réconciliation, par une redondance temporelle.

Afin d'être capable d'effectuer un tel calcul, le logiciel VALI a été modifié pour permettre au solveur de prendre en compte plusieurs sets de données en même temps.

La réconciliation multi-périodes possède aussi comme avantage de pouvoir prendre en compte les erreurs systématiques (biais) présentes sur certaines mesures. En effet, ces erreurs étant supposées constantes dans le temps, il sera possible de les estimer comme de simples paramètres affectant les mesures.

### **3. Secteur de l'Upstream**

Le secteur de l'Upstream constitue un des trois secteurs principaux composant l'industrie pétrolière. Celui-ci regroupe toutes les techniques et et tâches associées à l'extraction et à la production de l'huile et du gaz. Les deux autres secteurs sont ceux du Midstream, qui s'occupe du transport et du stockage des hydrocarbures, et du Downstream qui est lui orienté sur le traitement, le raffinage et la purification des produits pétroliers.

On peut également distinguer deux catégories dans l'industrie Upstream en fonction de la localisation des installations. Si celles-ci se trouvent dans les terres, on parle d'installation onshore tandis qu'une installation en mer sera appelée offshore.

#### **3.1 L'allocation aux puits**

L'allocation de la production totale d'une installation d'extraction du pétrole est l'attribution d'une partie de cette production à chacun des puits qui la composent.

En effet, une installation est souvent composée de plusieurs puits d'extraction reliés à la même plateforme.

Cette allocation est donc nécessaire et ce pour deux raisons principales.

- Certaines installations sont partagées par plusieurs compagnies pour des raisons de diminution des coûts d'exploration et d'exploitation du réservoir. Ainsi, chaque compagnie possède ses propres puits. Il est donc important de savoir quel puits produit quelle quantité de façon à pouvoir répartir correctement la production entre les différentes compagnies.
- Il peut être intéressant de mesurer séparément la productivité de chaque puits de façon à gérer les paramètres de production. Ainsi, si un puit commence à produire moins d'huile et plus d'eau, une solution économique serait de couper ce puits ou d'en réduire le débit afin de libérer la ligne de production pour les autres puits.

Pour ces deux raisons, les principaux paramètres surveillés pour évaluer la production d'un puit sont les suivants :

- **Qoil** qui est le débit volumique d'huile dans les conditions standards de pression et de température,
- **Qwater** qui est le débit volumique d'eau aux conditions standards<sup>4</sup>,
- **Qgas** qui est le débit volumique de gaz, également aux conditions standards,
- **WCT** (Water Cut) qui est le rapport entre le débit d'eau et le débit total de liquide :

$$WCT = \frac{Q_{water}}{Q_{water} + Q_{oil}}$$

Durant la production, ce paramètre va progressivement augmenter au fur et à mesure que l'huile du réservoir est extraite et que le niveau d'eau monte. Un puits dont l'exploitation est récente aura ainsi un WCT proche de 0 et une rentabilité élevée. Inversement, un puits en fin de vie ou pour lequel la perforation est défectueuse aura un WCT proche de 1 et sa fermeture sera envisagée.

---

<sup>4</sup> 15°C/1bar. Ces valeurs standards ont été fixées par la SPE, Society of Petroleum Engineers.

- **GOR** (Gas Oil Ratio) qui mesure la proportion entre le gaz et l'huile extraits dans les conditions standards de température et de pression.

$$GOR = \frac{Q_{gas}}{Q_{oil}}$$

Ce paramètre, avec la composition de l'huile et du gaz, aide à calculer l'état de la matière aux différents endroits de l'installation une fois la température et la pression à ces endroits connues. Une valeur importante de GOR peut par exemple signifier trop de gaz au niveau de la pompe ce qui pourrait entraîner la détérioration de celle-ci.

L'allocation de ces paramètres est possible grâce à deux techniques principales, à savoir l'utilisation de débitmètres MPFM ou l'allocation numérique.

#### ***Multi Phase Flow Meters***

L'utilisation de Multi Phase Flow Meters ou MPFM semble être la manière la plus sûre de contrôler en temps réel la production d'un puits car ils donnent les débits d'huile, de gaz et d'eau, desquels tous les autres paramètres sont calculables. Cependant, deux grandes nuances restent à faire.

- Premièrement, la technologie MPFM est une technologie très coûteuse, utilisant entre autres une source radioactive pour calculer la densité du fluide traversant le débitmètre. Une valeur de 200k€ par capteur est un bon ordre de grandeur pour le prix.
- Deuxièmement, cette technologie est soumise à des déviations sur les mesures qu'elle rend, et un recalibrage (coûteux) des capteurs est souvent nécessaire.

Cette technologie ne semble donc pas toujours donner des résultats satisfaisants comparés à l'investissement qu'elle demande.

#### ***Allocation numérique***

La seconde technique utilisable pour l'allocation de la production aux puits est de recalculer les différents débits du puits grâce à différents paramètres et à un well test (décrit ci-après).



Si le puits est muni d'un MPFM, il est également possible de vérifier les valeurs données par celui-ci et d'évaluer les éventuels biais sur les mesures.

Ce type de d'allocation est ce que peut typiquement faire le logiciel VALI en utilisant la technique DVR.

### 3.2 Well test

Un well test, ou test de puits en français, est un test effectué sur une installation et durant lequel on mesure avec précision les débits d'huile, de gaz et d'eau en sortie d'un séparateur de test. Pour ce faire, l'installation passe du séparateur de production à un séparateur de test (voir Figure 2). Celui-ci est muni d'un débitmètre par phase et permet de mesurer la production de chacune de celles-ci avec précision. Une fois cette production totale connue, il est nécessaire de faire une allocation à cette production pour retrouver la production individuelle de chaque puits. Ces tests, durant généralement quelques heures, sont réalisés à intervalles réguliers de manière à surveiller les paramètres de production des puits.

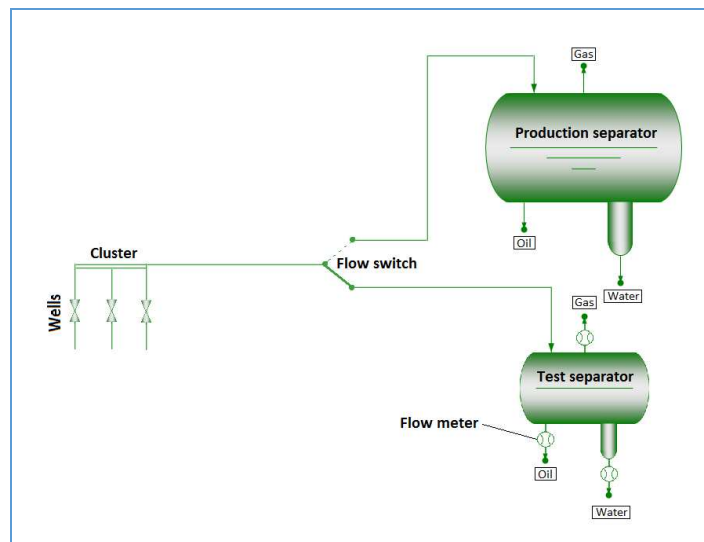


Figure 2 : Schéma synthétique d'une installation

**Well test simple**

Un well test simple est un well test opéré sur une installation ne possédant qu'un seul puits (voir Figure 3). Dans ce cas, l'allocation au puits est directe puisque les débits mesurés en sortie doivent être égaux aux débits dans le puits en raison de la loi de conservation de la matière.

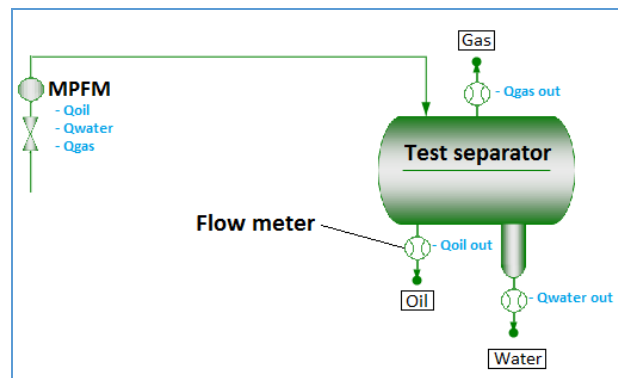


Figure 3 : Cas d'un seul puits

Si le puits est muni d'un MPFM, un well test permet de calculer un facteur correctif à appliquer à ces mesures et peut ainsi éviter un recalibrage du capteur.

**Exemple**

L'équilibre massique sur le débit d'huile nous donne:

$$Q_{oil\_out} = CF_{oil} * Q_{oil}$$

$Q_{oil\_out}$  est le débit d'huile mesuré en sortie du séparateur,

$Q_{oil}$  est le débit d'huile mesuré par le MPFM,

$CF_{oil}$  est le facteur correctif à appliquer pour corriger la valeur éventuellement biaisée du MPFM.

Le facteur correctif est dans ce cas directement calculable:

$$\rightarrow CF_{oil} = \frac{Q_{oil\_out}}{Q_{oil}}$$

**Multi-well test**

Comme expliqué précédemment, les installations pétrolières sont généralement munies de plusieurs puits. Le terme multi-well test se rapporte à un well test opéré sur ce genre d'installation (voir Figure 4).

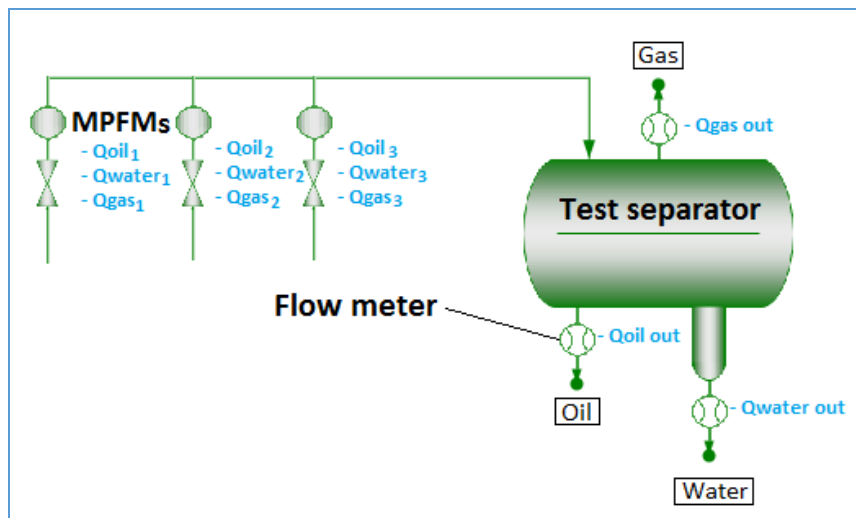


Figure 4 : Cas de plusieurs puits

Un seul multi-well test ne nous permet pas dans ce cas-ci de calculer directement les facteurs correctifs à appliquer.

**Exemple**

L'équilibre massique sur le débit d'huile nous donne:

$$Q_{oil_{out}} = CF_1 * Q_{oil_1} + CF_2 * Q_{oil_2} + CF_3 * Q_{oil_3}$$

$Q_{oil_{out}}$  est le débit d'huile mesuré en sortie du séparateur,

$Q_{oil_i}$  sont les débits d'huile mesurés par les MPFM,

$CF_i$  sont les facteurs correctifs à appliquer pour corriger les MPFM.

Nous avons donc une équation pour trois inconnues (les facteurs correctifs) et une infinité de solutions peuvent être trouvées.

Deux solutions existent pour résoudre ce problème.

La première consiste à réaliser le well-test lorsque seulement un des puits est ouvert. Ce cas se rapporte alors à un well test réalisé sur une installation à un puits. Elle présente cependant un coût et un risque, puisqu'un puits fermé ne produit pas et qu'il y a toujours un risque qu'il ne redémarre pas (trop grande inertie, endommagement du puits lors de la fermeture, etc).

La seconde solution consiste à envisager plusieurs multi-well tests simultanément.

$$\text{Test1} : Q_{oil_{out-1}} = CF_1 * Q_{oil_{1-1}} + CF_2 * Q_{oil_{2-1}} + CF_3 * Q_{oil_{3-1}}$$

$$\text{Test2} : Q_{oil_{out-2}} = CF_1 * Q_{oil_{1-2}} + CF_2 * Q_{oil_{2-2}} + CF_3 * Q_{oil_{3-2}}$$

$$\text{Test3} : Q_{oil_{out-3}} = CF_1 * Q_{oil_{1-3}} + CF_2 * Q_{oil_{2-3}} + CF_3 * Q_{oil_{3-3}}$$

Les facteurs correctifs étant considérés constants pour une certaine période de temps, car corrigeant une erreur systématique, le problème mathématique se rapporte à un système de trois équations à trois inconnues et les paramètres sont calculables.

C'est typiquement cette technique qui sera applicable grâce au logiciel VALI. Plusieurs runs sont envisagés simultanément et des contraintes temporelles sont ajoutées pour fixer les coefficients de correction comme constants dans le temps. Il est également possible par la suite d'ajouter un quatrième run, puis un cinquième, le tout apportant de la redondance et permettant de réconcilier ces coefficients calculés. Ainsi les facteurs correctifs sont calculables pour la période envisagée et une fois appliqués aux valeurs de débits, nous donnent des mesures précises sur la production individuelle des puits.

#### **4. Calibration de modèles Upstream**

Une autre application possible de la réconciliation multi-périodes dans le secteur de l'Upstream est la calibration de système VFM (Virtual Flow Metering).

Il y a actuellement deux façons principales de calibrer un modèle, c'est-à-dire d'en déterminer les paramètres. Premièrement en réalisant un calibrage par historique de valeurs et deuxièmement au moyen d'un calibrage basé sur

un well-test. La réconciliation multi-période apporte elle une troisième méthode hybride des deux premières.

#### 4.1 Calibrage par historique de valeurs

La première technique se base sur un historique continu de valeurs mesurées : le débit mesuré par un MPFM par exemple. Les paramètres de calibration sont alors calculés de manière à ce que les valeurs calculées dans le modèle par VALI collent aux valeurs données par le MPFM, comme l'illustre ce schéma :

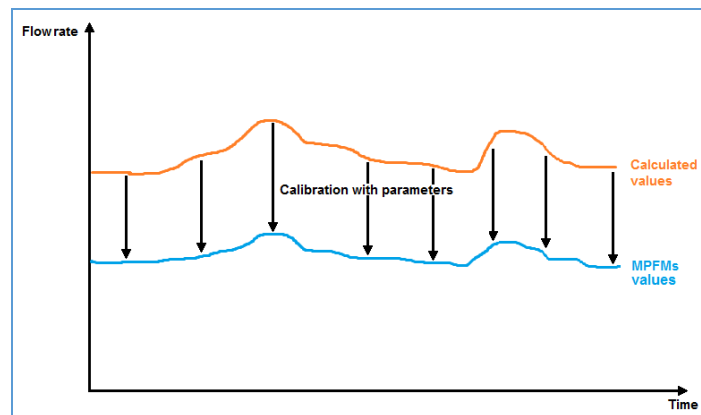


Figure 5 : Calibrage par historique de valeurs

Une fois le modèle calibré, VALI donnera des valeurs validées relativement proches des valeurs mesurées par le MPFM :

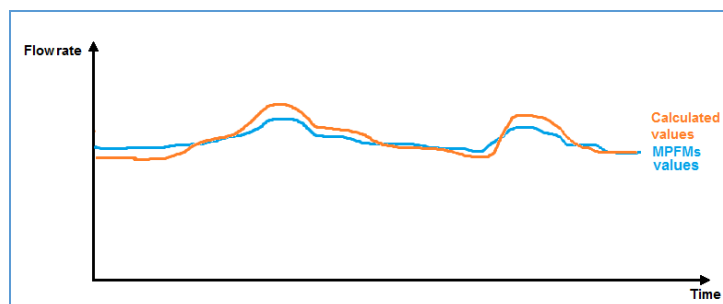


Figure 6 : Résultats du modèle calibré

**Avantage**

- L'utilisation de valeurs continues sur une longue période permet d'obtenir une calibration plutôt robuste dans le temps et indépendante des conditions de production.

**Inconvénients**

- On donne de la confiance aux valeurs MPFM sur lesquelles on calibre le modèle. Or ces valeurs sont souvent soumises à des biais. Cette calibration risque donc d'être biaisée.

Lors de la recalibration de ces capteurs, un décalage risque d'apparaître entre les valeurs calculées par VALI et les valeurs données par le MPFM fraîchement recalibré (voir Figure 7). Ainsi, chaque recalibration des capteurs doit être suivie d'une recalibration du modèle.

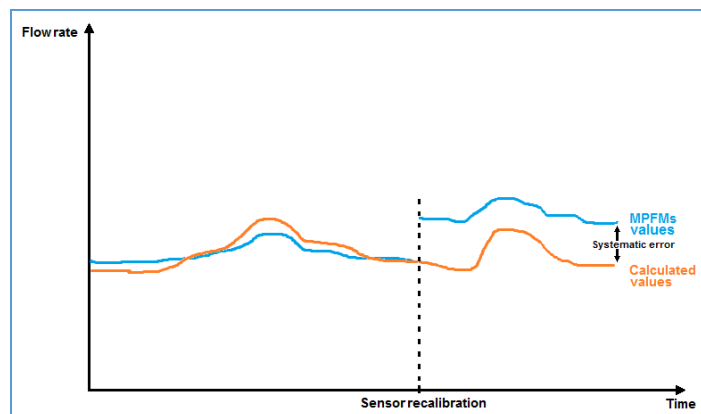


Figure 7 : Effet d'une recalibration du capteur

## 4.2 Calibrage à l'aide d'un well test

La deuxième manière de calibrer un modèle VFM est de déterminer les paramètres de calibration de façon à ce que les valeurs calculées par VALI collent aux valeurs données par un well test. Ainsi les paramètres sont calculés pour que le débit calculé par le modèle colle parfaitement au valeurs données par le MPFM (voir Figure 8).

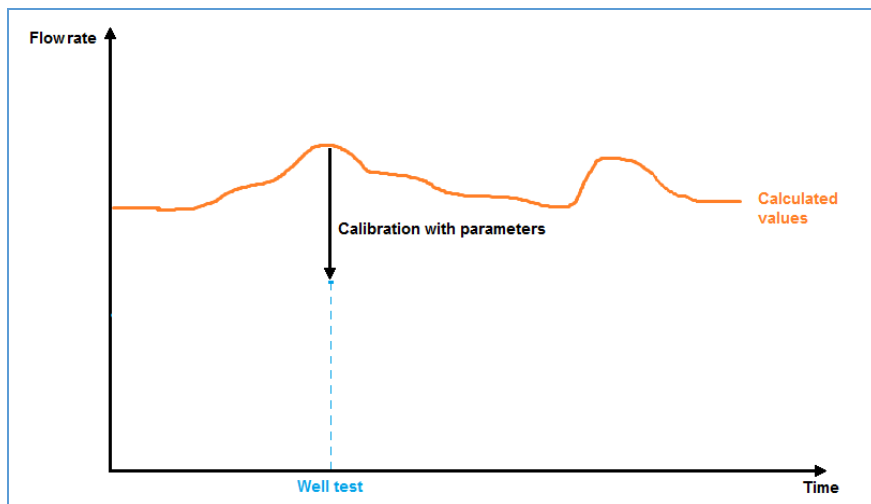


Figure 8 : Calibrage à l'aide d'un well test

### Avantages

- Les valeurs données par un well test sont des valeurs précises. Le calibrage du modèle ne sera donc pas biaisé.
- Cette calibration sera indépendante de la recalibration des capteurs MPFM puisqu'elle se base sur les valeurs well test en sortie de séparateur.

### Problème

- Ce calibrage se base sur des valeurs instantanées alors que les conditions de production peuvent varier dans le temps. Ainsi, un calibrage précis à une période de production peut conduire à des erreurs de prédictions à une autre période. Le modèle manque donc de robustesse dans le temps. Comme on peut le voir sur la Figure 9, le modèle a été calibré de manière à coller parfaitement sur le premier

well test, mais ne colle pas bien sur le second well test pour lequel les conditions de production ont changé.

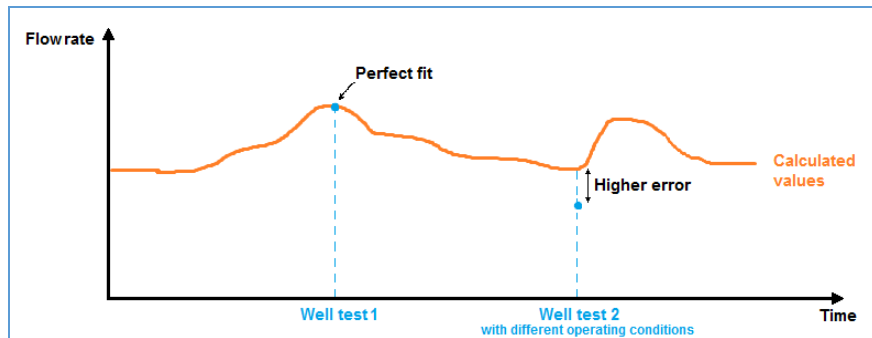


Figure 9 : Manque de robustesse de cette calibration dans le temps

### 4.3 Calibration à l'aide de la réconciliation multi-périodes

Grâce à la réconciliation multi-périodes, une troisième méthode de calibration est applicable. L'idée ici est de calibrer le modèle en utilisant plusieurs well tests en même temps. Les paramètres de calibration sont donc choisis de manière à respecter au mieux les valeurs données par ces well tests.

Le but de cette technique est de réunir les avantages des deux techniques précédentes et d'en éviter les inconvénients. Ainsi, la calibration se base sur des valeurs précises données par les well tests, ce qui permet d'avoir des prédictions non biaisées. Cette calibration utilisant les valeurs de well tests, est également indépendante de la recalibration des MPFM. Finalement, elle sera robuste dans le temps car ces well tests ont été pris à différents moments de la production et dans des conditions différentes.

Cette technique présente donc un bon compromis entre les deux premières techniques exposées et offre des résultats intéressants dans la calibration de systèmes VFM. Elle se montre plus robuste et efficace que les deux autres et a donné des résultats prometteurs dans ce domaine.



## 5. Conclusion

La DVR et la reconciliation multi-périodes développées par Belsim apportent de nombreux atouts au secteur de l'Upstream. Elles permettent en effet de palier au manque de mesures caractéristiques de ce domaine par des techniques de calculs statistiques et l'utilisation de la redondance de mesures, physique ou temporelle.

D'une part, elle permet d'effectuer une allocation numérique efficace de la production totale d'une installation, et ce même dans le cas d'installations présentant plusieurs puits, en prenant en compte plusieurs well tests en même temps lors des calculs. La redondance temporelle permet ici de calculer des paramètres de correction sur les erreurs systématiques des MPFM, qui par définition devraient être constantes sur une période de temps déterminée. La réconciliation de données permet quant à elle d'augmenter la confiance mise dans les mesures et de calculer d'autres valeurs caractéristiques intéressantes du procédé.

D'autre part, la DVR multi-périodes permet de calibrer efficacement les systèmes VFM en calculant les paramètres de calibration à partir de plusieurs well tests simultanément. Elle donne une calibration non biaisée (basée sur des mesures précises) et robuste dans le temps (indépendante des conditions de production), ce qui en fait une technique de premier choix dans ce domaine.

## 6. Sources

- [1] DAWE A. R., Modern Petroleum Technology, Upstream, John Wiley & Sons, Hoboken, 2002.
- [2] GAUDER D., Multi-well test handling through multi-period DVR, BELSIM, Awans, 2012.
- [3] HAMMERSON M., Upstream Oil and Gas: Cases, Materials, and Commentary, Globe Law and Business, London, 2011
- [4] HILYARD J., 2008 International Petroleum Encyclopedia, PennWell Corporation, Tulsa, 2008.