

## Application Note AN-FET-001

# Caractérisation et études de performance des transistors à effet de champ (FET) à l'aide de $\mu$ Stat-i 400.

Ces dernières années, les transistors à effet de champ (FET) ont été de plus en plus utilisés comme plateforme de détection pour une multitude d'applications électrochimiques et biologiques.

Ces dispositifs sont des transducteurs bioélectroniques prometteurs qui permettent à la fois un fonctionnement à faible potentiel et des mesures potentiométriques stables. Dans la communauté scientifique, les FET sont désormais considérés comme

une alternative intéressante aux systèmes de détection électrochimique conventionnels.

Cette note d'application donne des indications approfondies sur le fonctionnement des bipotentiostats Metrohm DropSens pour la caractérisation des FET et leur utilisation en tant que transducteurs. Un seul appareil  $\mu$ Stat-i 400, un bipotentiostat et galvanostat petit et portable, est utilisé pour démontrer les expériences suivantes.

## INTRODUCTION

Lorsque les transistors à effet de champ (FET) sont correctement fonctionnalisés avec des éléments de biorecognition appropriés tels que des anticorps ou des enzymes, ils offrent une plate-forme unique pour la transduction en temps réel, spécifique et sans étiquette d'événements biochimiques. Par exemple, des FET correctement fonctionnalisés peuvent détecter la présence de gaz, d'ions et de virus, et

même surveiller la croissance cellulaire en temps réel. Ces biocapteurs à base de FET fonctionnent avec un champ électrique qui module les porteurs de charge à travers un matériau semi-conducteur. Ces biocapteurs peuvent convertir directement des interactions biologiques spécifiques en signaux électriques sans qu'il soit nécessaire d'utiliser une étiquette électroactive.

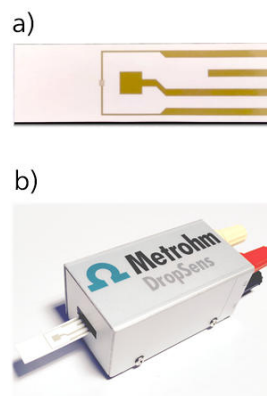
## INSTRUMENTS ET LOGICIELS

Le Metrohm DropSens  $\mu$ Stat-i 400 a été utilisé dans le but de montrer comment connecter des accessoires et réaliser des expériences avec des FET. Cet instrument est un bipotentiostat et un galvanostat portables qui peuvent fonctionner sans fil ou être connectés à un ordinateur par un câble USB.

L'instrument est contrôlé par le logiciel DropView 8400, un logiciel intuitif dédié et facile à utiliser qui permet aux utilisateurs d'effectuer des mesures électrochimiques et de visualiser le signal graphique obtenu en temps réel.

Metrohm DropSens propose également l'AUFET30 (**figure 1a**), un transducteur électrochimique en or fixé sur un substrat en plastique. Cette plateforme est conçue dans un arrangement coplanaire intégrant toutes les électrodes (canal drain-source et grille) en une seule pièce pour faciliter la fabrication de FET. Cette configuration garantit toujours la même distance de séparation entre les électrodes et permet de modifier facilement le canal avec le matériau semi-conducteur. Le canal drain-source est un système interdigité de six bandes dans chaque électrode. La largeur de l'espace entre les bandes est de 30  $\mu\text{m}$ , tandis que la longueur des bandes est de 270  $\mu\text{m}$ . L'électrode de grille est une électrode carrée (9 mm<sup>2</sup>) et est placée à 2 mm du canal drain-source.

Le connecteur dédié BIDSCFET (**Figure 1b**) a été conçu pour l'AUFET30 afin de le connecter facilement à n'importe quel instrument. Ici, l'AUFET30 est représenté dans la fente située sur la face avant de ce connecteur, tandis qu'à l'arrière se trouvent quatre connecteurs banane femelles qui correspondent aux couleurs des connecteurs banane mâles des câbles fournis pour une installation intuitive.



**Figure 1.** a) Plate-forme AUFET30 pour la fabrication de FET. (b) Connecteur BIDSCFET.

## Connexion FET

Un connecteur de câble I-BICABSTAT est fourni avec le bipotentiostat / galvanostat  $\mu$ Stat-i 400. Ce câble comporte 5 connecteurs banane mâles étiquetés comme décrit dans la **figure 2**.

Afin de réaliser des expériences avec des FET, différentes dispositions de connexion sont décrites en fonction de l'application expérimentale souhaitée.

Red – (WE1)

Red – (S)

Yellow – (XWE2)

Black – (A)

Blue – (R)

Green – ( $\equiv$ )

**Figure 2.** Etiquettes pour les 5 différents connecteurs banane

## INSTRUMENTS ET LOGICIELS

### Connexion pour la caractérisation du FET

Lors de la caractérisation des FET, le courant drain-source ( $I_{D-S}$ ) est généralement évalué en balayant la tension drain-source ( $V_{D-S}$ ) à différents niveaux de la tension grille-source ( $V_{G-S}$ ). Par conséquent, la disposition des connexions est la suivante :

- Le connecteur banane XWE2 (jaune) est connecté à l'électrode **grille**.
- Les connecteurs bananes R (bleu) et A (noir) sont connectés à l'électrode **source**.

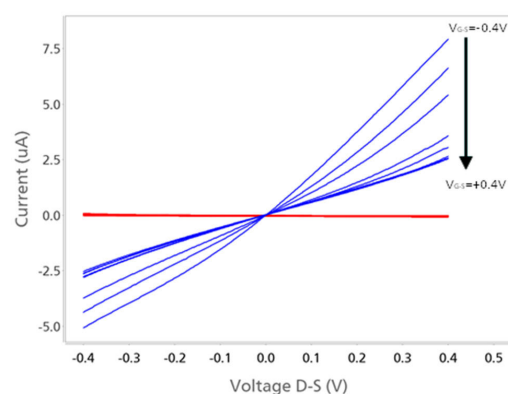
Afin de réaliser la caractérisation, plusieurs expériences LSV+AD sont réalisées en faisant varier  $V_{G-S}$ . Pendant l'expérience, la zone d'affichage graphique trace deux courbes simultanément : une courbe bleue correspondant à  $I_{D-S}$  vs  $V_{D-S}$  et une courbe rouge correspondant à  $I_G$  vs  $V_{D-S}$ . Après avoir effectué les différentes expériences LSV+AD, la zone d'affichage graphique présente un tracé similaire à celui de la **figure 3**.

Les lignes bleues montrent la relation linéaire entre  $I_{D-S}$  et  $V_{D-S}$  obtenue à différents  $V_{G-S}$  allant de -0,40 V à +0,40 V. La dépendance linéaire pour le dispositif évalué confirme que le contact ohmique est maintenu entre les électrodes d'or du canal drain-source et le film semi-conducteur sous-jacent.

- Les connecteurs banane WE1 (rouge) et S (rouge) sont connectés à l'électrode **drain**.

Une fois les connexions effectuées, sélectionner la technique LSV+AD dans le logiciel DropView 8400. Les paramètres de l'expérience peuvent être réglés dans les fenêtres de paramètres du logiciel.

- **Ebegin** : valeur initiale pour  $V_{D-S}$
- **Eend** : Valeur finale pour  $V_{D-S}$
- **E2** : Tension de porte  $V_{G-S}$



**Figure 3.** Tracé de  $I_{D-S}$  (bleu) et  $I_G$  (rouge) en fonction de  $V_{D-S}$  obtenu à différents  $V_{G-S}$  avec le logiciel DropView 8400.

## INSTRUMENTS ET LOGICIELS

### Connexion pour les courbes de transfert I-V : balayage de la tension grille-source en appliquant une tension fixe dans le canal drain-source

Afin d'obtenir les courbes de transfert typiques, le courant drain-source ( $I_{D-S}$ ) est enregistré à une tension fixe tandis que  $V_{G-S}$  est balayé. Après caractérisation (**Figure 3**), une grande variation des valeurs  $I_{D-S}$  peut être observée en fonction de la  $V_{G-S}$  appliquée à une  $V_{D-S}$  de +0.40 V. Pour cette raison, cette valeur  $V_{D-S}$  (+0.40 V) a été sélectionnée pour réaliser l'expérience suivante sur les courbes de transfert. Le mode opératoire est très similaire à la description précédente, mais les connexions doivent être effectuées comme décrit ci-dessous.

La procédure d'utilisation est très similaire à la description précédente, mais les connexions doivent être effectuées comme décrit ci-dessous.

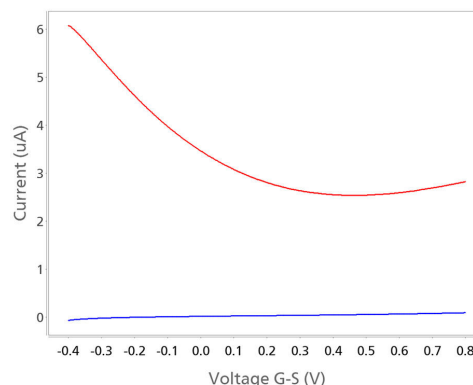
- Les connecteurs banane WE1 (rouge) et S (rouge) sont connectés à l'électrode **grille**.

Après le démarrage de l'expérience, la zone d'affichage graphique montre deux courbes simultanément : une courbe rouge correspondant à la courbe de transfert nommée I-V ( $I_{D-S}$  vs  $V_{G-S}$ ), et une courbe bleue relative au courant de fuite ( $I_{G-S}$  vs  $V_{G-S}$ ). (**Figure 4**).

- Les connecteurs banane R (bleu) et A (noir) sont connectés à l'électrode **source**.
- Le connecteur banane XWE2 (jaune) est connecté à l'électrode de **drainage**.

Une fois les connexions effectuées, sélectionner la technique LSV+AD dans le logiciel DropView 8400. Les paramètres de l'expérience peuvent être réglés dans les fenêtres de paramètres du logiciel.

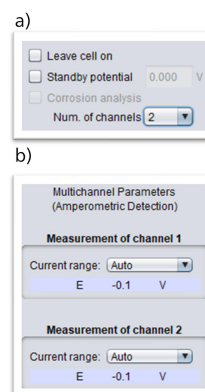
- **Ebegin**: valeur initiale pour  $V_{G-S}$
- **Eend**: valeur finale pour  $V_{G-S}$
- **E2**: tension drain-source



**Figure 4.** Tracé de la courbe de transfert I-V ( $I_{D-S}$ , ligne rouge) et du courant de fuite ( $I_{G-S}$ , ligne bleue) en fonction de  $V_{G-S}$  obtenu avec le logiciel DropView 8400.

## Connexion pour les mesures en continu

Pour certaines applications, il est nécessaire d'effectuer des mesures en mode continu, car une fois que les paramètres optimaux ont été sélectionnés, une tension fixe est appliquée entre la grille et la source, et une autre tension fixe est également appliquée au drain. Dans ce cas, la configuration opérationnelle est la même que celle utilisée pour les courbes de transfert. Cependant, dans cette situation, une technique différente est employée. La détection ampérométrique est sélectionnée dans le logiciel DropView 8400. Dans les fenêtres de paramètres du logiciel, sélectionner "2" comme nombre de canaux (Figure 5a). Ensuite, cliquer sur l'onglet Multichannel parameter à l'intérieur de la fenêtre de paramètres (Figure 5b), puis régler la tension porte-source dans le canal 1 et la tension drain-source dans le canal 2. Après le démarrage de l'expérience, la zone d'affichage graphique montrera deux courbes, une rouge et une bleue liées à ID-S vs time et IG-S vs time, respectivement.



**Figure 5.** (a) Section de la fenêtre de paramètres du DropView 8400 où le nombre de canaux doit être sélectionné. (b) L'onglet du paramètre Multicanal dans la fenêtre de paramètre où E du canal 1 correspond à VG-S et E du canal 2 correspond à VD-S.

## CONCLUSION

Les bipotentiostats DropSens de Metrohm permettent aux utilisateurs d'afficher simultanément les courants grille-source et drain-source dans une figure unique, ce qui signifie que la courbe de transfert I-V et le courant de fuite peuvent être obtenus pour chaque expérience. Le même protocole écrit dans cette note d'application peut être suivi avec le  $\mu$ Stat 400.

En outre, l'AUFET30 est un transducteur électrochimique permettant de développer facilement des FET. Avec le connecteur dédié BIDSCFET, il facilite l'adaptation à n'importe quel bipotentiostat pour effectuer des mesures fiables avec une sensibilité plus élevée que les configurations conventionnelles de cellules électrochimiques à trois électrodes.

## CONTACT

Metrohm France  
13, avenue du Québec - CS  
90038  
91978 VILLEBON  
COURTABOEUF CEDEX

info@metrohm.fr

## CONFIGURATION



### Stat-i 400 Bipotentiostat/Galvanostat/Impedance Analyzer (EIS)

$\mu$ Stat-i 400 est un bipotentiostat/galvanostat/appareil d'analyse de l'impédance (SIE) portable qui peut être appliqué aux mesures voltampérométriques, ampérométriques, potentiométriques et SIE et qui s'utilise avec une configuration à une ou deux électrodes de travail. Équipé d'une pile lithium-ion, il est facilement connecté à un PC via USB et Bluetooth®.



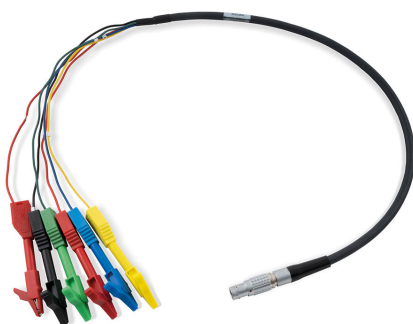
### Transistors à effet de champ souples en or à grille de structure coplanaire

Dispositifs souples jetables pour transistor à effet de champ (TEC) en or sur substrat plastique. Ces électrodes permettent d'obtenir des phases de détection.



### Connector for Field-effect transistor Electrodes

Boxed connector that acts as an interface between ref. AUFET30 electrodes and any kind of potentiostat



### Connecteur de câble Stat pour Stat-i 400 et électrodes sérigraphiées doubles

Connecteur de câble  $\mu$ Stat pour  $\mu$ Stat-i 400 et électrodes sérigraphiées doubles