



## TRACKER™

### TENSIOMETRES A GOUTTE AUTOMATQUES

---

*Une gamme complète d'instruments de mesure pour l'étude des tensions de surface et la Rhéologie Interfaciale*

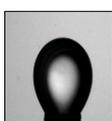
# TENSION DE SURFACE & RHEOLOGIE INTERFACIALE

La tension superficielle et la tension interfaciale jouent un rôle important dans notre vie quotidienne. Un grand nombre d'applications industrielles nécessite de caractériser les systèmes dispersés tels que les mousses et les émulsions ainsi que l'énergie de surface des solides.

Le **tensiomètre à goutte automatisé TRACKER™**, permet de caractériser, simplement et rapidement, les propriétés physico-chimiques des interfaces entre 2 fluides non miscibles, générant des données précieuses pour réduire le temps et le coût de formulation des produits.

## Principe de Mesure

TRACKER™ détermine la tension interfaciale dynamique entre deux fluides non miscibles en effectuant une analyse numérique de la forme d'une goutte ou d'une bulle. Deux configurations différentes sont possibles:

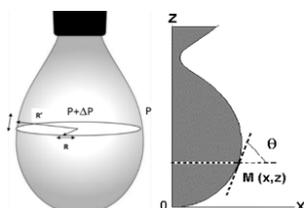


Goutte ou Bulle montante: lorsque la densité du fluide de la goutte est plus faible que celle du fluide dans la cuvette.



Goutte ou Bulle pendante: lorsque la densité du fluide de la goutte est plus élevée que celle du fluide dans la cuvette.

Le logiciel s'appuie sur des algorithmes d'analyse du profil de la goutte/bulle et son ajustement aux modèles basés sur l'équation de Young-Laplace pour mesurer la tension superficielle/interfaciale et l'angle de contact.



$$\Delta P = \gamma \cdot \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{R'} \right)$$

la différence de pression causée par la courbure de la surface est proportionnelle à la courbure moyenne, le coefficient de proportionnalité étant justement la tension interfaciale

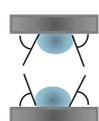
Le logiciel contrôle les variations de volume ou d'aire de la goutte en fréquence et en amplitude. Il permet ainsi d'étudier les propriétés rhéologiques des interfaces.

La régulation automatisée garantit des mesures précises et reproductibles. Le logiciel calcule les mesures en temps réel et enregistre jusqu'à 60 images par seconde.

## Eventail de mesures



**Tension superficielle** entre un Liquide et un Gaz ou **Tension interfaciale** entre 2 Liquides au cours du temps.



**Angle de contact** entre un Liquide et un solide au cours du temps. La mesure détermine la mouillabilité du solide et permet de déduire l'énergie de surface du solide.



**Rhéologie interfaciale** : mesure l'évolution de tension superficielle ou interfaciale sur une goutte/bulle, dont le volume varie en cycles sinusoïdaux.



**Angle de contact dynamique** : mesure l'angle de contact d'avancée et de reculée quand le volume de la goutte varie.

## Données & Mesures

- Tension en fonction du temps (précision 0.01 mN/m)
- Angle de contact (précision 0.01 mN/m)
- Température: ambiante à 200°C
- Pression: atmosphérique à 700 bars
- Contrôle volume, diamètre, aire de la goutte
- Module Viscoélastique: composante élastique (réelle) et visqueuse (imaginaire)
- Coefficient de rigidité
- Nombre de Bond
- Concentration Micellaire Critique

## Quelques exemples d'applications...

**Pétrole brut** : stabilité des émulsions pendant la phase de séparation, influence des tensio-actifs pour l'extraction du pétrole, angle de contact dynamique pétrole brut / roche / phases liquides.

**Cosmétiques** : stabilité des émulsions, formulation, angle de contact dynamique conteneur / émulsion

**Industrie alimentaire** : conditionnement des aliments, stabilité des émulsions avant congélation (glace), influence des protéines, sucre ou alcool sur la taille de la bulle (sodas, champagne).

**Bitumes** : mouillabilité, propriétés des émulsions à différentes températures, contact angle dynamique

**Formulation du carburant** : caractérisation de la coalescence des émulsions, mouillabilité.

**Lubrifiant** : angle de contact (lubrifiant / matériel), influence des tensioactifs sur la mouillabilité.

### INSTRUMENTS STANDARDS

*Conçus pour caractériser les propriétés des interfaces des applications les plus courantes*

#### TRACKER™

- Tensiomètre à goutte automatisé
- Mesure tension superficielle/interfaciale, angle de contact et rhéologie interfaciale
- Configuration goutte montante ou pendante
- Traitement des données en temps réel
- Température jusqu'à 90°C

#### TRACKER™ MODULES / OPTIONS

- Echange de phase dans la cuvette
- Echange de phase dans la goutte
- Concentration Micellaire Critique Automatique
- Cellule piézoélectrique pour une oscillation de la goutte à haute fréquence
- Capteur de pression pour mesurer la pression de Laplace à l'intérieur de la goutte
- Goniomètre et logiciel de dépose automatique

#### TRACKER™2D

- Tensiomètre à double goutte automatisé
- Analyse de 2 gouttes coaxiales ou parallèles
- Traitement des données en temps réel

### INSTRUMENTS

#### HAUTE TEMPÉRATURE & PRESSION

*Conçus pour caractériser les propriétés des interfaces des applications les plus exigeantes*

#### TRACKER™ Cellule Pression 200 bar

- Tensiomètre à goutte automatisé équipé d'une cellule de mesure haute pression et haute Température amovible
- Mesure tension superficielle/interfaciale, angle de contact et rhéologie interfaciale
- Configuration goutte montante ou pendante
- Traitement des données en temps réel
- Pression jusqu'à 200 bar
- Température jusqu'à 200°C

#### TRACKER™ HTHP Cellule Pression 700 bar

- Tensiomètre à goutte automatisé équipé d'une cellule de mesure très Haute pression et haute température
- Mesure tension superficielle/interfaciale, angle de contact et rhéologie interfaciale
- Configuration goutte montante ou pendante
- Traitement des données en temps réel
- Haute pression jusqu'à 700 bar
- Haute température jusqu'à 200°C

...Pour de nombreuses applications de recherche

PETROLEUM



FOOD



CHEMISTRY



COSMETICS



PHARMACY





## TRACKER™ STANDARD

---

*Conçu pour caractériser les tensions de surface & la rhéologie interfaciale des applications courantes*

# TRACKER™ Tensiomètre à goutte automatisé

TRACKER™, tensiomètre à goutte automatisé est conçu pour mesurer la tension superficielle, la tension interfaciale, l'angle de contact et étudier la rhéologie interfaciale.

Grâce à une conception ergonomique et modulaire, l'instrument s'adapte à de nombreuses applications et sa configuration peut évoluer en y ajoutant plusieurs modules et options :

- Echange de phase
- Capteur de pression
- Cellule Piézoélectrique (oscillations à haute fréquence)
- Module CMC automatique
- Cellule Pression 200°C/200bar



## Le Système optique

TRACKER™ est équipé d'une camera CCD monochrome avec une résolution de 640x480 pixels et d'un objectif télé-centrique. La caméra enregistre jusqu'à 60 images par seconde (fps) couvrant la plupart des applications. Lorsque des phénomènes très rapides sont étudiés, une caméra rapide (jusqu'à 600 fps) est proposée.

Une correction de distorsion, stockée dans le logiciel est utilisée pour corriger l'image acquise et apporter une précision maximale des mesures. Grâce à cette correction et au logiciel, des résolutions inférieures au pixel (0,2 px) sont obtenues.

Une source lumineuse éclaire l'échantillon de manière homogène et constante. La variation de niveau de gris d'un pixel ne varie que de  $\pm 10$  niveaux de gris sur 256. La source lumineuse dispose de 2 intensités lumineuses pour s'adapter aux solutions présentant une plus forte densité optique.

## Le dispositif de mesure

TRACKER™ est équipé d'une cuvette entourée d'une enveloppe thermostatique. Un agitateur magnétique est intégré pour mélanger les échantillons si la concentration de la solution est modifiée pendant l'expérience.

La température peut être contrôlée jusqu'à 90°C dans la cuvette et dans la seringue en utilisant un bain circulant. Une sonde de température est fournie pour enregistrer la température de l'échantillon à  $\pm 0.2$  °C.

Les données de la sonde de température sont automatiquement enregistrées. Ainsi, les valeurs de densité peuvent être corrigées en fonction de la température réelle lors de la mesure.

TRACKER™ est équipé d'une plateforme amovible permettant d'ajuster l'horizontalité pour mesurer l'angle de contact statique ou dynamique entre un liquide et un solide.

TRACKER™ peut être équipé d'un caisson de protection qui évite la pollution lumineuse pendant les mesures, et protège l'instrument de la poussière.

### Données & Mesures

- Tension de surface (liquide / gaz)
- Tension interfaciale (liquide / liquide)
- Angle de contact (liquide / solide)
- Angle de contact dynamique (avancée-reculée)
- Rhéologie interfaciale - Module Viscoélastique
  - ✓ Elasticité de surface
  - ✓ Viscosité de surface
- Coefficient de rigidité
- Concentration micellaire critique (CMC)
- Vitesse d'adsorption des tensio-actifs
- Température

### Applications

- Caractérisation des tensio-actifs
- Efficience et efficacité des tensio-actifs
- Quantité nécessaire de tensio-actifs pour saturer la surface
- Comportement des tensio-actifs à la surface
- Mouillabilité de la surface
- Propriétés des tensio-actifs biologiques (protéines, lipides...)
- Compétition des tensio-actifs...

## Le logiciel

La tension interfaciale est déterminée en effectuant une analyse numérique de la forme du profil d'une goutte de liquide ou d'une bulle de gaz.

La forme de la goutte/bulle est déterminée par la combinaison de la tension interfaciale et des effets de la gravitation. Les effets de la tension interfaciale force la goutte à prendre une forme sphérique tandis que les effets de la gravitation ont tendance à l'allonger pour lui donner une forme en poire dans le cas d'une goutte pendante et à l'aplatir dans le cas d'une goutte posée. Lorsque l'importance de ces effets sont du même ordre on peut déterminer la forme du contour apparent et aussi les angles de contact entre la goutte et son support.

Le calcul est basé sur 2 équations fondamentales :

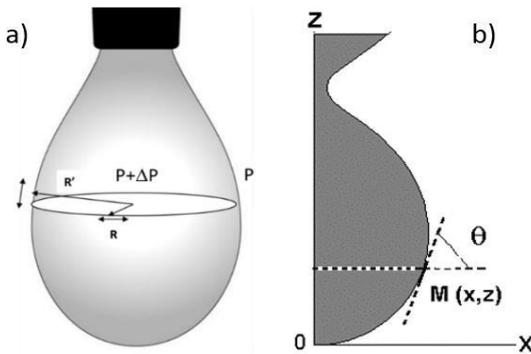


Figure 1.a/Courbure de la surface de la goutte.  
b/Coordonnées d'un point M de la surface de la goutte

- l'équation de Laplace-Young qui traduit que la différence de pression causée par la courbure de la surface est proportionnelle à la courbure moyenne, le coefficient de proportionnalité étant justement la tension interfaciale:

$$\Delta P = \gamma \cdot \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{R'} \right)$$

où R et R' sont les rayons  
ΔP est la variation de pression résultant de la courbure de l'interface  
(Figure 1.a).

- la deuxième équation résulte de l'écriture d'un équilibre des forces au travers de tout plan horizontal:

$$2\pi \cdot x \cdot \gamma \cdot \sin\theta = V \cdot (\rho_1 - \rho_2) \cdot g + \pi \cdot x^2 \cdot p$$

Où p est la pression due à la courbure  
γ la tension interfaciale  
R et R' les rayons de courbures principaux de la surface  
x l'abscisse du point de la méridienne d'ordonnée z  
θ l'angle entre la normale et l'axe de révolution  
V le volume du fluide sous le plan  
ρ<sub>1</sub> et ρ<sub>2</sub> les masses volumiques respectives des deux fluides  
g l'accélération terrestre  
(Figure 1.b).

La forme d'une goutte dépend exclusivement du paramètre de forme qui est sans dimension et que l'on appelle le facteur de forme ou nombre de Bond:

$$Bo = \frac{g\Delta\rho}{\gamma b^2} = \frac{c}{b^2}$$

Où Δρ la différence de densité entre les deux fluides  
g l'accélération gravitationnelle  
b l'inverse du rayon de courbure au sommet (point d'origine)  
γ la tension interfaciale  
c la constante capillaire  
 $c = \frac{g\Delta\rho}{\gamma}$

Plus Bo est bas, plus la goutte est sphérique (figure 2-3) et moins la mesure est précise. Pour augmenter Bo, il faut augmenter le rayon de courbure au sommet de la goutte et donc son volume. Bo peut également être affecté par les erreurs dues à la distorsion optique des objectifs de la caméra et la verticalité de la goutte.

Le bon indicateur pour une mesure précise du contour de la goutte est Bo supérieur à 0,1.

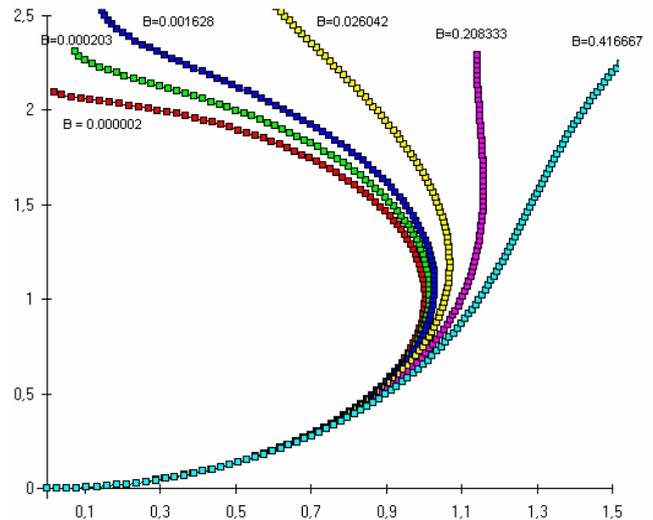


Figure 2 Profils de goutte pour différents nombre de Bond

	Bo = 0.1	Bo = 0.01
Gaussian noise (mm)	Relative error	Relative error
0.001	0.25 %	2.3 %
0.005	1.7 %	12.15 %
0.009	2.2 %	28.6 %
0.013	2.7 %	27.6 %
0.017	2.4 %	42.0 %
0.021	5.0 %	53.7 %

Figure 3 Erreur relative donnée par le profil laplacien de la goutte selon le bruit gaussien pour 2 valeurs de Bo

# TRACKER™ Tensiomètre à goutte automatisé

## Les mesures

TRACKER™ est automatisé pour effectuer des mesures précises, produire des résultats fiables et réaliser des expériences reproductibles.

La mesure d'angle de contact permet de déterminer la mouillabilité d'un liquide et de calculer l'énergie de surface d'un solide. Les mesures d'angle de contact sont faites à partir de gouttes déposées ou lâchées. Le dépôt est réalisé manuellement ou piloté par le logiciel (option). L'angle de contact peut être calculé sur une goutte déposée sur ou en dessous d'une surface solide. La mesure est réalisée dès que la goutte se détache de l'aiguille et rencontre le solide.

Les mesures de tension superficielle et interfaciale sont réalisables avec des gouttes ou bulles montantes ou pendantes selon la densité des fluides étudiés.

Les mesures sont réalisées au cours du temps (Ex1). Elles permettent d'évaluer la cinétique d'adsorption des molécules tensioactives et de déterminer la tension superficielle à l'équilibre.

La rhéologie interfaciale (Ex2) mesure le module viscoélastique souvent corrélé avec la stabilité des mousses et des émulsions. La rhéologie interfaciale permet de mieux comprendre les propriétés des Tensioactifs insolubles ou solubles à l'interface. Elle permet d'étudier les phénomènes d'adsorption-désorption ainsi que certaines réactions pouvant avoir lieu à l'interface.

Le logiciel permet de contrôler le volume de la goutte ou l'aire de l'interface, pour:

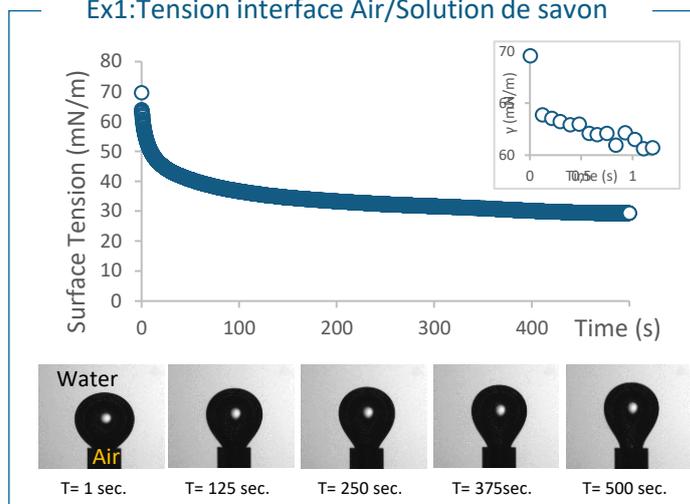
- le maintenir constant tout au long de l'expérience
- suivre une variation sinusoïdale dont la fréquence et l'amplitude sont programmables par l'utilisateur. Ces expérimentations sont utilisées pour déterminer le module viscoélastique dilatationnel
- suivre des régimes linéaires  $\gamma$  compris avec des variations brutales : les pulses.

Le logiciel calcule en temps réel. Les données de paramétrage, les images et les résultats sont stockés dans des fichiers non modifiables.

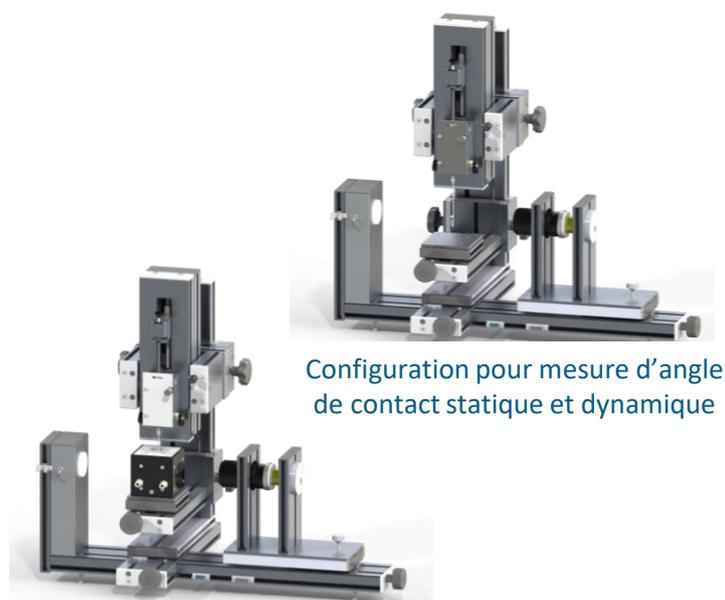
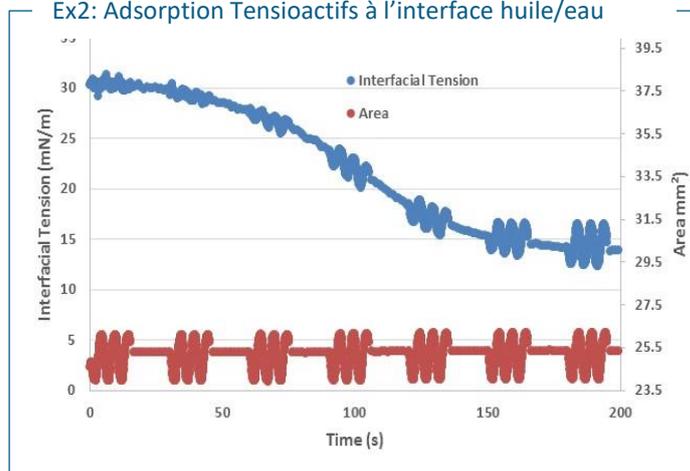
Tous les résultats de mesures sont comparables directement dans le logiciel.

Les images enregistrées peuvent être recalculées en post-traitement.

Ex1: Tension interface Air/Solution de savon



Ex2: Adsorption Tensioactifs à l'interface huile/eau



Configuration pour mesure d'angle de contact statique et dynamique

Configuration pour mesure de tension superficielle et rhéologie interfaciale

# TRACKER™ Tensiomètre à goutte automatisé

La **rhéologie dilatationnelle de surface** représente un outil puissant pour étudier l'équilibre et les propriétés dynamiques de couches interfaciales simples et plus élaborées contenant des tensioactifs, des protéines, des polymères ou des particules de taille micro-nano.

La rhéologie interfaciale permet de mieux comprendre les propriétés des Tensioactifs, des protéines, des polymères ou des particules de taille micro-nano à l'interface. Elle permet **d'étudier les phénomènes d'adsorption-désorption** ainsi que certaines réactions pouvant avoir lieu à l'interface. Elle peut ainsi révéler des informations cruciales sur la dynamique interfaciale et la contribution de la structure aux propriétés des formules.

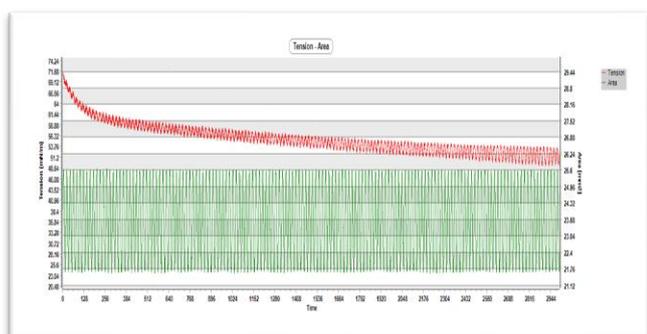
Le calcul du module viscoélastique permet de mieux comprendre comment il est possible de modifier les propriétés d'élasticité et de viscosité d'interfaces et de les corrélérer avec la stabilité des mousses et des émulsions.

## Rhéologie Interfaciale avec TRACKER™

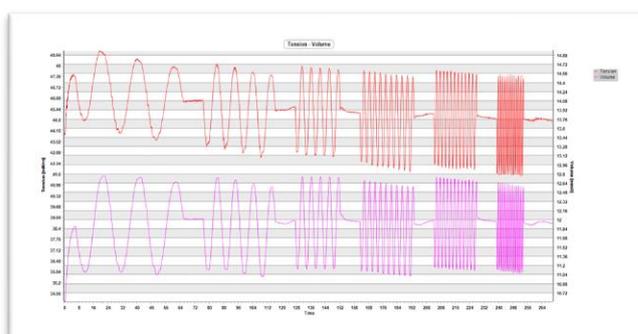
Le logiciel du TRACKER™ permet de contrôler précisément le volume ou l'aire de la goutte/bulle et de réaliser en même temps une variation sinusoidale dont la fréquence et l'amplitude sont programmables par l'utilisateur. De l'oscillation de base, à fréquence unique, aux scénarios complexes incluant plusieurs étapes d'oscillations, tous les paramètres de mesure peuvent être réglés ou modifiés indépendamment, y compris pendant la mesure:

- Fréquence d'oscillation : 0.001Hz à 2Hz et jusqu'à 10Hz avec la cellule piézoélectrique
- Variation volume de la goutte : +/- 0.1 µl à +/- 100 µl et jusqu'à +/- 4 µl avec la cellule piézoélectrique
- Vitesse de variation de volume min : 0.01 µl/s
- Vitesse de variation de volume max : 20 µl/s
- Durée: surface de la goutte/Bulle constante durant les oscillations pendant plusieurs heures y compris sur une interface gaz-liquide

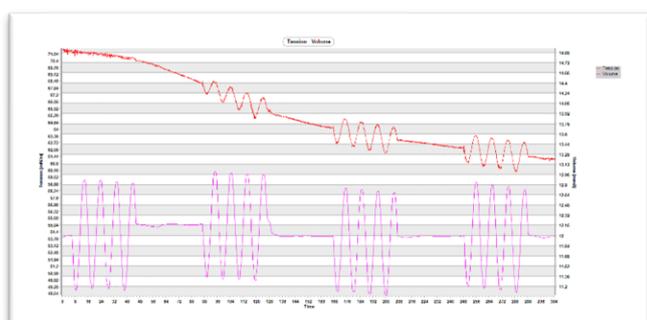
## Rhéologie Interfaciale TRACKER™ - Exemples de mesures



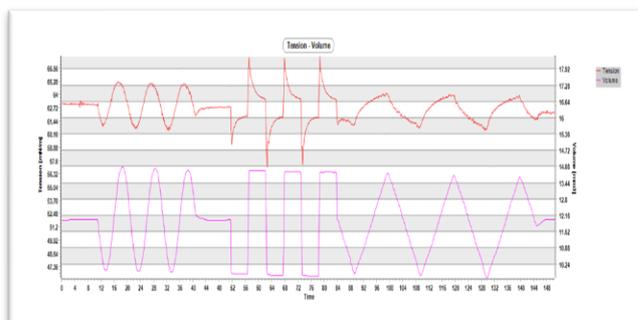
Ex 1: Régulation en Aire au cours d'une cinétique d'adsorption



Ex 2: Régulation en volume avec balayage en fréquence



Ex 3: Régulation en volume avec et sans périodes d'oscillations



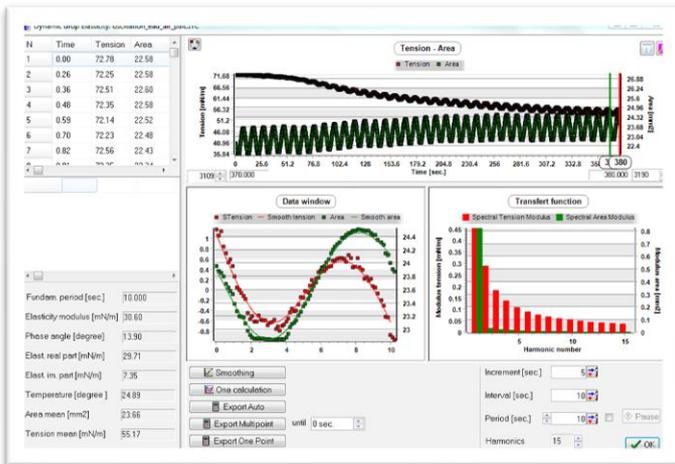
Ex 4: Régulation en volume avec balayage en amplitude

## MODULE VISCOELASTIQUE

Les calculs de viscoélasticité peuvent être effectués pendant la mesure.

$$\text{Elasticité} = E = d\gamma / (dA/A)$$

Les données brutes enregistrées dans le fichier ILT, sous forme d'images ou de mesures. Elles peuvent être ouvertes ultérieurement pour être réanalysées et/ou réévaluées.



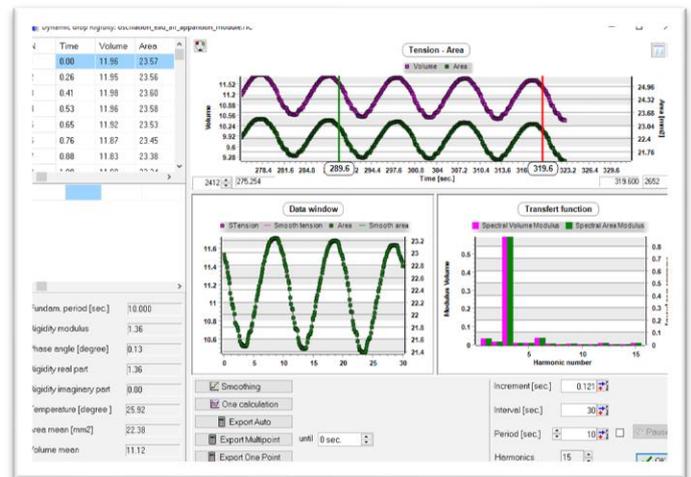
Ex: calcul de module viscoélastique

## MODULE DE RIGIDITÉ

Le calcul du module de rigidité peut être effectués pendant la mesure.

$$\text{Rigidité} = (dV/V) / (dA/A)$$

Il permet de mettre en évidence l'apparition de membrane sur les surfaces.



Ex: calcul de module de rigidité

## Rhéologie Dilatationnelle Interfaciale

La déformation de l'interface consiste en une variation de l'aire interfaciale A (compression ou dilatation).

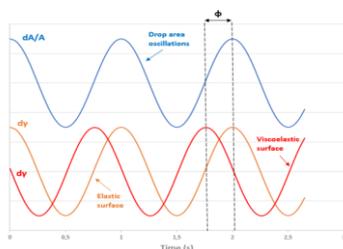
La réponse de l'interface à une telle déformation se manifeste par une variation de la tension de surface  $\gamma$ .

On peut définir un module viscoélastique comme l'augmentation de la tension de surface en fonction d'une déformation de la surface

$$E = d\gamma / (dA/A) = d\gamma / d\ln(A)$$

Le module viscoélastique de surface en dilatation est donc le coefficient de proportionnalité entre une déformation ( $dA/A$ ) et une contrainte de surface (en N/m), la tension de surface.

Si la déformation varie dans le temps, le rapport entre la contrainte et la vitesse de déformation avec les viscosités de surface correspondantes peuvent être calculées. Si on dilate et on comprime une surface de façon sinusoïdale à une fréquence  $\omega$  et une amplitude  $\Delta A$ , et pour une surface viscoélastique, il peut apparaître un déphasage  $\theta$  entre la variation de la déformation ( $\Delta A/A_0$ ) et la tension de surface.



Le module viscoélastique E devient un nombre complexe, avec une partie réelle  $E'$ , représentant l'énergie stockée et récupérable, et une partie imaginaire  $E''$ , correspondant aux mécanismes qui dissipent l'énergie mécanique

$$E = |E| \cos(\theta) + i |E| \sin(\theta)$$

$$E' = |E| \cos(\theta)$$

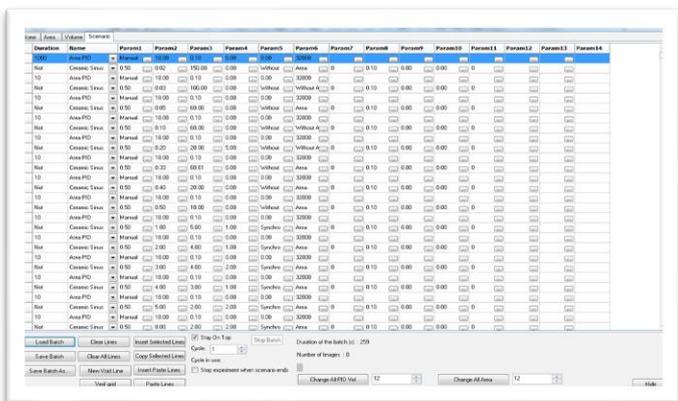
$$E'' = |E| \sin(\theta)$$

## BATCH : GESTION DE SCENARIO

La fonction Batch permet d'écrire un scénario enchainant de façon illimitée toutes les actions de régulation à effectuer sur la goutte/bulle pendant la mesure.

Tous les paramètres de mesure peuvent être réglés ou modifiés indépendamment, y compris pendant la mesure:

- Fréquence
- Variation volume de la goutte
- Vitesse
- Durée

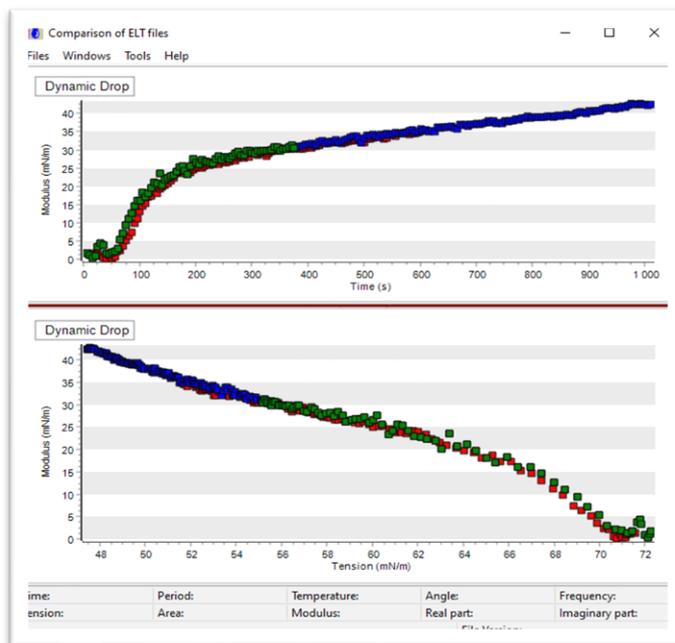


Ex: Paramétrage de scénario

## COMPARAISON DES RÉSULTATS INTÉGRÉS

Les données brutes enregistrées dans le fichier ILT, sous forme d'images ou de mesures. Elles peuvent être ouvertes ultérieurement pour être réanalysées et/ou réévaluées.

Les calculs de modules comme tous les autres résultats peuvent être comparés directement dans le logiciel sans export de données préalable.



Ex: Comparaison de modules



## TRACKER™

---

### *Modules & options*

# TRACKER™ Echange de Phase

La mesure de tension superficielle ou interfaciale fournit des informations utiles sur la cinétique d'adsorption des surfactants. Cependant, elle ne permet pas d'étudier de la cinétique de désorption. La question de la réversibilité de l'adsorption est difficile à évaluer par cette technique seule.

L'option ÉCHANGE DE PHASE complète la technique en mesurant la tension superficielle d'une bulle ou la tension interfaciale d'une goutte dont la phase contenue soit dans la goutte/bulle, soit dans la cuvette est échangé. L'option ÉCHANGE DE PHASE est entièrement pilotée par le logiciel. Tous les types de mesure peuvent être effectués pendant l'échange de phase : tension interfaciale, avec oscillations, impulsions... Des séquences avec et sans échange de phase peuvent être programmées : à un temps choisi, en modifiant la vitesse d'échange.

L'échange de phase peut être effectué pendant la mesure ou en dehors de la mesure.

## ECHANGE DE PHASE DANS LA CUVETTE



L'option ÉCHANGE DE PHASE DANS LA CUVETTE mesure la tension superficielle d'une bulle ou la tension interfaciale d'une goutte formée dans la cuvette dont le liquide est échangé. Les conditions idéales de mélange sont établies par agitation et en maintenant un débit constant à l'intérieur de la cuvette.

Cette option est plutôt adaptée aux échanges de phases liquides. Elle permet de remplacer une solution étudiée dans la cuvette par une autre solution tout en maintenant le volume de la goutte constant. L'utilisateur choisit le débit de circulation du liquide, et le logiciel contrôle les cycles d'injection.

La solution tensio-active étudiée est soit ajoutée dans la cuvette (chargement), soit retirée de la cuvette par rinçage à l'eau (lavage), ce qui permet **d'étudier directement la cinétique d'adsorption/désorption** des agents tensioactifs comme les protéines, polymères... aux interfaces, et donne également des informations sur les interactions entre ces tensio-actifs à l'interface.

## ECHANGE DE PHASE DANS LA GOUTTE



L'option ÉCHANGE DE PHASE DANS LA GOUTTE mesure la tension superficielle d'une bulle dont le gaz est échangé ou la tension interfaciale d'une goutte dont le liquide est échangé grâce à double capillaire coaxial, tout en maintenant son volume constant. Le débit d'échange peut être réglé et le logiciel contrôle les cycles d'injection.

Cette option est plutôt adaptée pour les échanges de gaz mais elle s'avère très utile pour mesurer l'échange de phase des volumes plus petits et indispensable pour les échanges d'huiles opaques qui ne peuvent être mesurées qu'en faisant une goutte d'huile dans une eau plus claire.

Enfin, l'option ÉCHANGE DE PHASE DANS LA GOUTTE permet de **mesurer l'adsorption séquentielle de différents composants au niveau d'une interface liquide/liquide**, en plus de la mesure d'adsorption simultanée classique à partir d'une solution mixte. Ainsi, par exemple, le mouvement des protéines pré-adsorbées après l'ajout successif d'un autre surfactant peut être étudié avec succès par cette technique

Spécifications techniques	
Compatibilité	TRKS, TRKH, TRKCMC
Vitesse d'échange de phase dans la cuvette	0 – 20ml / min
Vitesse d'échange de phase dans la goutte	0,01 -20 µl / s
Système	Liquide / Liquide - Liquide / Gaz

# TRACKER™ CMC Automatique

Il est utile de connaître la valeur de la Concentration Micellaire Critique (CMC) pour un tensioactif donné et dans des conditions déterminées (température, pH, force ionique) car certaines propriétés changent de manière brutale à la CMC.

En effet, la tension superficielle/interfaciale, la conductivité électrique (pour un tensioactif chargé), la pression osmotique, la diffusion de lumière varient avant et après la CMC. Connaître la valeur de la CMC est alors importante :

- Selon que l'on recherche ou non la présence de micelle, par exemple lors de réactions de polymérisation
- Pour prédire la stabilité des émulsions : si la concentration du tensioactif dépasse la CMC, l'émulsion reste stable
- Pour la compréhension et le choix de molécules pour la formulation
- Lorsque la relation entre formulation et pénétration cutanée est étudiée
- Pour anticiper le relargage de principe actif encapsulés...

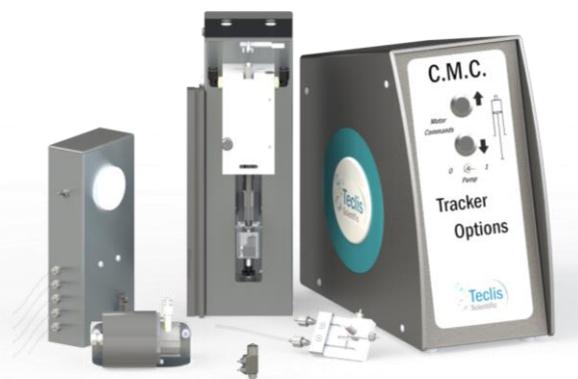
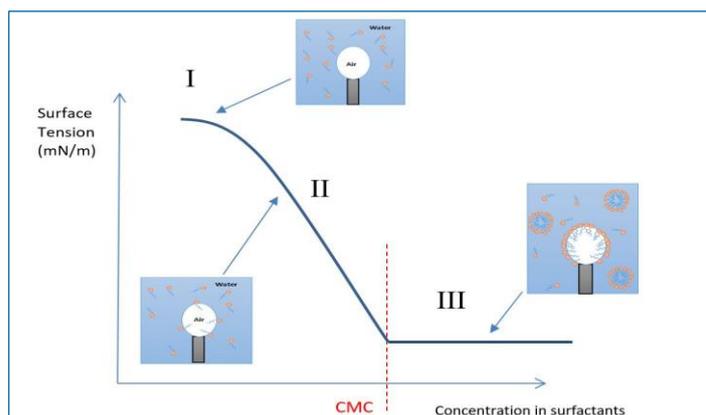
La CMC est un bon moyen de caractériser et comparer les tensioactifs entre eux et en particulier en fonction des conditions de température et de salinité. D'autre part, le balayage en concentration peut renseigner sur la présence d'impuretés.

## CMC AUTOMATIQUE

Quand la concentration en tensioactifs augmente dans la phase aqueuse, une partie des molécules tensioactives sont adsorbées à la surface eau/air et la tension superficielle diminue rapidement (Figure zone I).

A partir d'une certaine valeur, il se forme alors un film mono moléculaire de tensioactif à la surface de l'eau et la tension superficielle décroît de façon linéaire avec le logarithme de la concentration (Figure zone II).

Lorsque la tension superficielle ne diminue plus, la concentration micellaire critique est atteinte (CMC). Les tensioactifs en solution se regroupent en micelle au sein du liquide pour se stabiliser entre eux (Figure zone III).



Le module de CMC permet de déterminer automatiquement la concentration micellaire critique. La tension de surface entre l'air et une solution de tensioactifs à différentes concentrations est mesurée successivement. La CMC automatique du TRACKER™ permet d'utiliser jusqu'à 4 solutions de concentrations différentes afin d'étendre et de contrôler finement la plage de concentration à balayer. Le volume dosé et la concentration sont totalement contrôlés par un algorithme qui calcule les paliers de concentration afin d'optimiser la précision de détermination de la CMC.

Les mesures de tension à basses concentrations sont très utiles pour établir des modèles d'adsorption mais peuvent être délicates à réaliser en raison de la présence d'impuretés. Pour faciliter les mesures et éliminer ces impuretés, TRACKER™ CMC dispose d'un panneau contrôlant les cycles de nettoyage automatique.

Spécifications techniques	
Compatibilité	TRKS
Mode de nettoyage	Automatique
Système	Liquide / Liquide – Liquide / Gaz

## GONIOMÈTRE & DÉPOSE AUTOMATIQUE

Le goniomètre est une plateforme amovible permettant d'ajuster l'horizontalité pour mesurer l'angle de contact statique ou dynamique entre un liquide et un solide. Le logiciel de Dépose automatique de la goutte permet d'automatiser la dépose pour une parfaite reproductibilité des mesures.

Le goniomètre existe dans une version thermostatée (système de chauffage électrique ou connecté à un bain circulant) pour mesurer l'angle de contact jusqu'à 200°C.



Spécifications techniques	
Compatibilité	TRKS, TRKH, TRKCMC
Système	Liquide / Solide

## CAPTEUR DE PRESSION

La pression à l'intérieur de la bulle est mesurée en temps réel et enregistrée dans le logiciel. Cette option ne peut pas être utilisée avec les systèmes Liquide/Liquide.



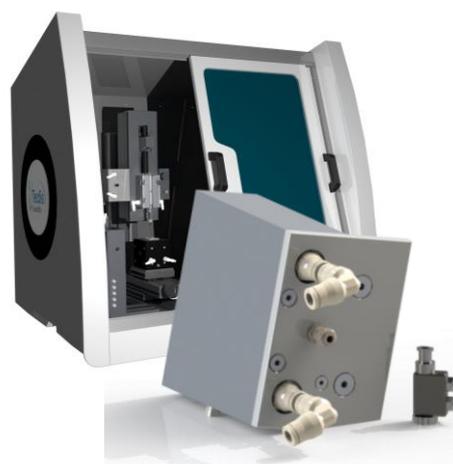
Spécifications techniques	
Compatibilité	TRKS, TRKH, TRKCMC
Système	Liquide/Gaz.

## CELLULE PIÉZOÉLECTRIQUE POUR DES OSCILLATIONS À HAUTE FRÉQUENCE

La **cellule piézoélectrique** est un module connecté à la seringue.

Cette option permet de faire **osciller une bulle de gaz à différentes fréquences** (0,01Hz à 10Hz). Pendant l'oscillation, aucune donnée n'est affichée, puisque le nombre maximum d'images (60 par seconde) est capturé pour une analyse ultérieure.

Une fois l'oscillation terminée, les résultats sont calculés et affichés.



Spécifications techniques	
Compatibilité	TRKS, TRKH, TRKCMC
Gamme de fréquence	0,01Hz – 10Hz
Système	systèmes Liquide/Gaz seuls



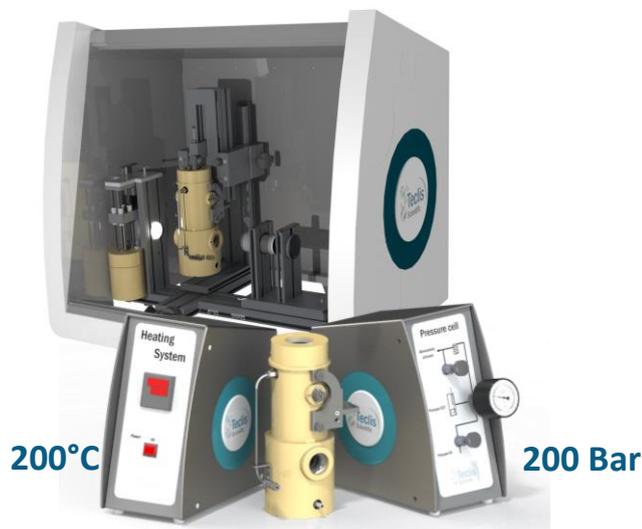
## TRACKER™ HAUTE PRESSION

---

*Conçu pour caractériser les propriétés des interfaces  
dans les conditions les plus extrêmes*

## TRACKER™ H – Cellule pression 200 bar

**TRACKER™H** est un tensiomètre à goutte automatisé, équipé d'une cellule pression amovible permettant de mesurer les tension superficielle / interfaciale et angle de contact jusqu'à **200 bar et 200°C**.



La cellule pression se fixe facilement sur le TRACKER™ standard. Elle renferme la cuvette et son support ainsi que la seringue permettant de manipuler l'échantillon sous atmosphère contrôlée.

TRACKER™H est conçu pour mesurer les interfaces Gaz/Liquide ou Liquide/Liquide ou Liquide/Solide dans les 2 configurations goutte montante ou pendante. Une plateforme rotative permet de déposer plusieurs gouttes successives sur ou sous un solide pour réaliser plusieurs mesures d'angle de contact sous pression sans ouvrir la cellule pression.

Le piston de la seringue est accessible à l'extérieur de la cellule et est pilotable automatiquement. La cellule est connectée à un réseau sous pression, une bouteille de gaz ou un compresseur par l'intermédiaire du boîtier de commande du gaz.

Un thermocouple mesure la température du liquide au sein de la cellule. La température est contrôlable en utilisant un bain circulant extérieur ou des résistances électriques. Une unité de commande alimente les cartouches de chauffage électrique et affiche les températures de consigne et ainsi qu'à l'intérieur de la cellule sous pression.

Le module est conçu pour être facilement démontable pour le nettoyage.

L'analyse du profil de la goutte se fait à travers les hublots saphir de la cellule. Le logiciel contrôle l'ensemble des paramètres de température et pression, ainsi que les paramètres de mesure. Le traitement des données est en temps réel.



Dispositifs de mesures

### Data & Measurements

- Surface Tension (liquid/gas)
- Interfacial Tension (liquid/liquid)
- Contact angle & Surface Energy (liquid/solid)
- Advancing and receding Contact angle
- Interfacial rheology – Viscoelastic modulus
- Coefficient of rigidity
- Temperature / Pression

### Applications

- CO<sub>2</sub> Supercritique
- Pétrole, bitumes
- Polymères en fusion
- Angle contact sous pression
- Compatible avec du méthane
- EOR

### Spécifications techniques

Pression / T°	Max 200bar / 200°C
Gaz	azote, argon, air, CO <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> Supercritique ...
Connecteurs	Tube en acier inoxydable ( diamètre extérieur 1/8", longueur 1m)

# TRACKER™ HTHP - Cellule pression de 350 à 700 bar

TRACKER™ HTHP est conçu pour caractériser les propriétés de surface, mesurer la tension de surface ou interfaciale, l'angle de contact et étudier la rhéologie interfaciale dans des conditions extrêmes.

TRACKER™ HTHP permet de réaliser les mesures jusqu'à une température de 200°C et sous pression jusqu'à 700 bar. Le design de la cellule pression est **certifié par le CETIM\***.

TRACKER™ HTHP est modulable et totalement polyvalent. Il mesure

- Les tensions des interfaces Liquide/Liquide, Liquide/Gaz avec la méthode de la goutte **montante ou pendante**.
- L'angle de contact d'un liquide déposé **sur ou sous** un Solide
- La rhéologie interfaciale avec régulation en fréquence et en amplitude du Volume/aire de la goutte et calcul du Module viscoélastique
- L'Angle de contact dynamique (angles d'avancée et reculée) d'un liquide sur ou sous un Solide.

TRACKER™ HTHP est compatible avec tous les Gaz non explosifs et le CO<sub>2</sub> Supercritique. L'instrument existe en 3 versions de pression maximum: 350 / 500 / 700 bar.



Spécifications techniques	
Pression	Jusqu'à 700 bar
T°	Jusqu'à 200 °C
Gaz	Air, azote, argon, air, CO <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> Supercritique
Boîtier de gaz	Limitateurs de pression et purgeurs d'air - Raccordements pour conduites de gaz
Seringue	Seringue 2,5ml, Hastelloy C276 modifiée
Cuvette	25 x 25 X 32 mm

## Dispositif de mesure

La cellule sous pression renferme la seringue, l'aiguille et la cuvette ainsi que les éléments permettant de s'adapter à toutes les configurations : goutte pendante, montante, goutte posée.... L'ensemble du dispositif est modulable, facile d'utilisation et nettoyeur.

La mesure d'angle de contact peut être réalisée avec une goutte posée sur un solide ou sous un solide. Une plateforme rotative permet de déposer plusieurs gouttes pour réaliser **plusieurs mesures d'angle de contact sous pression sans ouvrir la cellule pression**.

La seringue est spécialement conçue pour manipuler les gouttes et les bulles sous pression avec précision. Elle est directement contrôlée par le logiciel en temps réel, pour réguler très précisément le volume et l'aire de la goutte/bulle ou effectuer des oscillations durant l'expérience pour obtenir des paramètres de rhéologie de surface.

La cellule sous pression n'est pas détachable de l'appareil. TRACKER™ HTHP peut être utilisé sans pression, mais uniquement avec la cellule.

## Système optique

TRACKER™ HTHP est équipé d'une camera CCD monochrome avec une résolution de 640x480 pixels et d'un objectif télé-centrique. La caméra enregistre jusqu'à 60 images par seconde (fps) ou jusqu'à 539 fps lorsque des phénomènes très rapides sont étudiés.

Une source lumineuse éclaire l'échantillon de manière homogène et constante. Elle dispose de 2 intensités lumineuses pour les solutions présentant une plus forte densité optique.

L'analyse de la forme de la goutte se fait à travers les 2 hublots saphir de la cellule.

## Système température et pression

TRACKER™ HTHP est équipé d'un booster pour élever la pression jusque 700 bar et d'un bain circulant à huile afin de monter la température jusque 200 °C.

TRACKER™ HTHP est un instrument complet. Le dispositif de mesure, le système optique et le système de température et pression sont regroupés dans un châssis compact, mobile constituant un instrument de mesure autonome qui ne nécessite pas l'ajout d'autres équipements.

\*Centre Technique des Industries Mécaniques [www.cetim.fr](http://www.cetim.fr)

## Le Logiciel

TRACKER™ HTHP est automatisé pour effectuer des mesures précises, produire des résultats fiables et réaliser des expériences reproductibles.

Le logiciel contrôle la température et la pression et pilote l'ensemble des paramètres de mesure. Les calculs sont faits en temps réel.

Le logiciel s'appuie sur des algorithmes d'analyse du profil de la goutte et son ajustement aux modèles basés sur l'équation de Young-Laplace pour mesurer la tension superficielle/interfaciale et l'angle de contact.

Le logiciel mesure la tension superficielle et interfaciale par l'analyse d'image du profil de gouttes/bulles montantes ou pendantes.

Le logiciel permet de contrôler le volume de la goutte ou l'aire de l'interface, pour:

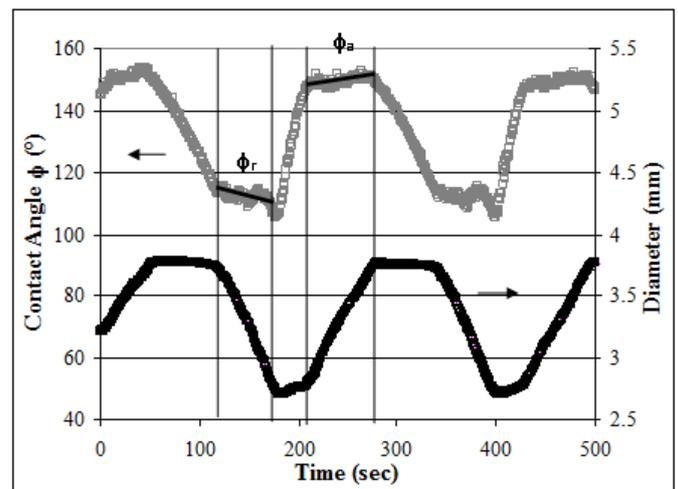
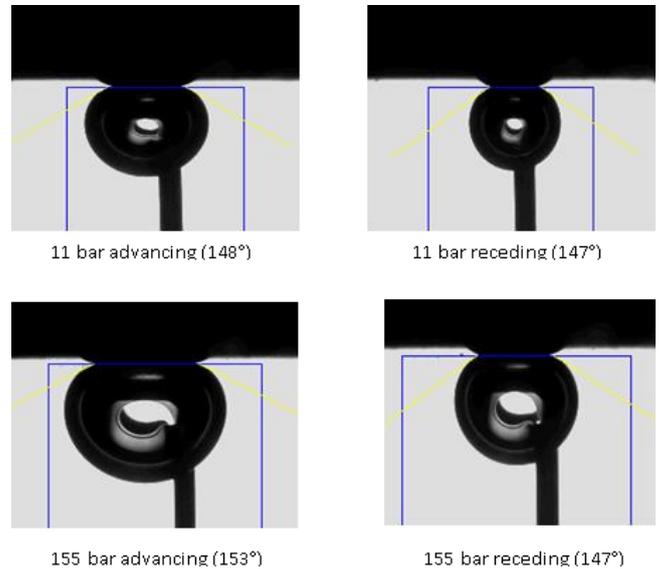
- le maintenir constant tout au long de l'expérience,
- suivre une variation sinusoïdale dont la fréquence et l'amplitude sont programmables par l'utilisateur. Ces expérimentations sont utilisées pour déterminer le module viscoélastique dilatationnel,
- suivre des régimes linéaires y compris avec des variations brutales : les pulses.

Le logiciel mesure l'angle de contact statique et l'angle d'avancée/reulée, d'une goutte posée sous pression, sur ou sous un solide. Grâce à la plate-forme rotative, plusieurs dépôts de gouttes peuvent être effectués successivement sous pression et sans ouvrir la cellule de pression (Ex 3).

Les résultats sont stockés dans des fichiers non modifiables. Tous les résultats de mesures sont comparables directement dans le logiciel. Tous les résultats sont exportables aux formats texte ou tableur.

Les images enregistrées peuvent être recalculées en post-traitement

Ex3: mesures d'angles de contact dynamique à basse et haute pression de CO<sub>2</sub> à 70°C (sur substrat de caprock)



SPE 113353-PP

Capillary Alteration of Caprocks by Acid Gases

Virenkumar Shah, University of Pau and TOTAL SA; Daniel Broseta,

University of Pau ; Gerard Mouronval, TOTAL SA

Copyright 2008, Society of Petroleum Engineers

## Données & Mesures

- Tension de surface (liquide / gaz)
- Tension interfaciale (liquide / liquide)
- Angle de contact (gaz / liquide / solide)
- Angle de contact dynamique
- Rhéologie interfaciale - Module Viscoélastique
- Coefficient de rigidité
- Température / Pression

## Applications

- CO<sub>2</sub> Supercritique
- Pétrole, bitumes
- Polymères en fusion
- Angle contact sous pression
- Compatible avec du méthane
- EOR



TRACKER™

---

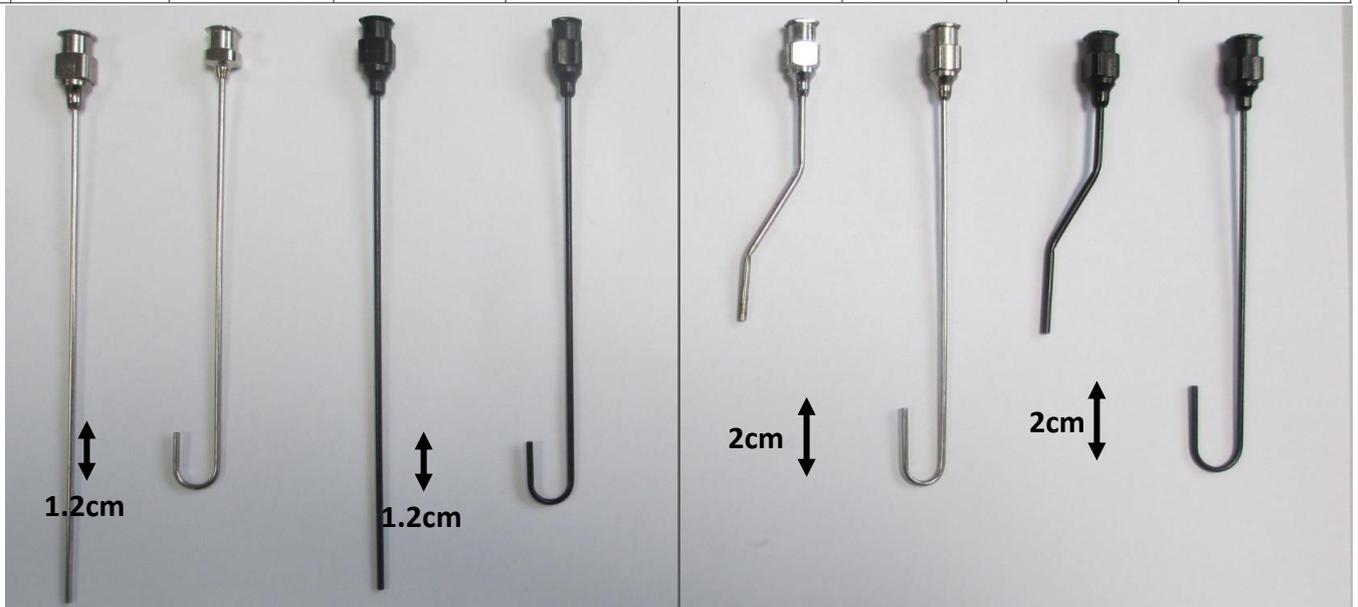
*Consommables & Accessoires*

## AIGUILLES

Toutes les aiguilles sont utilisées pour les mesures de tension de surface, tension interfaciale et angle de contact dans les configurations de goutte montante ou pendante. Lorsque la phase dans l'aiguille et la seringue est plus dense que celui de la cuvette, des aiguilles droites sont recommandées. Sinon, on privilégiera une aiguille courbée. Les aiguilles ont une courbure en forme de J pour orienter la pointe vers le haut. Les aiguilles et les moyeux Luer-lock sont en acier inoxydable de type 304.

**Pour commander, veuillez indiquer le gabarit, la longueur et la configuration nécessaire**

Forme	STANDARD				POUR CELLULE SOUS PRESSION			
	Droite	Courbée	Droite + couverture téflon	Courbée + Manteau téflon	Droite	Courbée	Droite + Couverture téflon	Courbée + Couverture téflon
Longueur	10cm	10cm	10cm	10cm	5cm	10cm	5cm	10cm
Jauge / diamètre intérieur (mm)	G20 / 0.60	G20 / 0.60	G20 / 0.60	G20 / 0.60	G20 / 0.60	G20 / 0.60	G20 / 0.60	G20 / 0.60
	G18 / 0.84	G18 / 0.84	G18 / 0.84	G18 / 0.84	G18 / 0.84	G18 / 0.84	G18 / 0.84	G18 / 0.84
	G16 / 1.19	G16 / 1.19	G16 / 1.19	G16 / 1.19	G16 / 1.19	G16 / 1.19	G16 / 1.19	G16 / 1.19
	G14 / 1.60	G14 / 1.60	G14 / 1.60	G14 / 1.60	G14 / 1.60	G14 / 1.60	G14 / 1.60	G14 / 1.60



## CUVES EN VERRE OPTIQUE

STANDARD	Taille L / l / H (mm)	Volume
CUV5	23 x 15 x 40	5mL
CUV5 (Tracker<2005)	22 x 12 x 45	5mL
CUV25	30 x 30 x 70	25mL

SERINGUES						
Volume	STANDARD Tracker < 2005	Modèle	STANDARD	Modèle	CELLULE SOUS PRESSION	Modèle
50 µL			<b>SGE50</b>	SGE		
100 µL			<b>SGE100</b>	SGE		
250 µL	<b>E250</b>	Exmire	<b>SGE250</b>	SGE	<b>PSH025</b>	Hamilton
500 µL	<b>E500</b>	Exmire	<b>SGE500</b>	SGE	<b>PSH050</b>	Hamilton
1000 µL	<b>E1000</b>	Exmire	<b>SGE1000</b>	SGE	<b>PSH100</b>	Hamilton
2500 µL	<b>E2500</b>	Exmire	<b>SGE2500</b>	SGE	<b>PSH250</b>	Hamilton

Toutes les seringues sont munies de fûts en verre borosilicaté et de pistons plongeurs en téflon. Les extrémités des embouts Luer-lock sont également en Téflon.

CONSOMMABLES STANDARDS	
<b>CALS</b>	Set de 2 billes de calibration (Diam 2,5mm et 3,5mm +/-0.0001mm)
<b>ITJ-5</b>	Support pour Cuvette 5ml avec control de température et agitation par barreau magnétique. Température jusqu'à 90° C
<b>ITJ-25</b>	Support pour Cuvette 25ml avec control de température et agitation par barreau magnétique. Température jusqu'à 90° C
<b>ITSJ</b>	Support Thermostaté pour seringue SGE - Contrôle de Température jusqu'à 90° C
<b>LS</b>	Source lumineuse

CONSOMMABLES POUR CELLULE SOUS PRESSION		
<b>PAWIN</b>	Hublots pour les cellules sous pression 200	 <p>1:OR4*2mm 2:OR7*1.5mm 3:OR16*2mm 4:Teflon ring (Ref.: PTFT) 5:Hamilton adapter top (Ref.: PTFR) 6:Hamilton adapter bottom (Ref. PTFS) 7:OR45*2mm</p>
<b>PTFT</b>	Joint torique en téflon pour seringue	
<b>PTFR</b>	Support en téflon pour seringue - Longueur : 2cm	
<b>PTFS</b>	Support en téflon entre l'aiguille et la seringue - Longueur : 1cm	
<b>ORNTR</b>	Set de joints toriques, NBR, pour cellule sous pression 200bars	
<b>ORKTR</b>	Set de joints toriques, FKM, pour cellule sous pression 200bars	

CONDITIONS D'UTILISATION DES JOINTS TORIQUES	NBR	Viton	FKM
Température	80° C	220° C	250° C
Conditions supercritiques	Oui	Non	Oui
Compatibilité Chimique	Mauvaise avec la plupart des solvants (ketone, toluene, chloroform...) Bonne avec acides and bases		Très bonne

	TRACKER™ Standard	TRACKER™ CMC	TRACKER™H Cellule Pression 200 bar	TRACKER™ HTHP 350 à 700 bar
Référence	TRK-S	TRK-CMC	TRK-H	TRK-HTHP
Précision Tension mN/m	0,1	0,1	0,1	0,1
Contrôle automatisé de la goutte / bulle	Oui	Oui	Oui	Oui
Précision Angle de contact	0,1°	0,1°	0,1°	0,1°
Température	Jusqu'à 90° C	Jusqu'à 90° C	Jusqu'à 200° C	Jusqu'à 200° C
Pression	Atmosphérique	Atmosphérique	Jusqu'à 200 bar	Jusqu' à 700 bar
Oscillation Max.	1hz	1hz	1hz	1hz
Module Piezoelectric	Option	Option	Option	Non
Oscillation avec Piezo	10hz	10hz	10hz	Non
Capteur de pression	Option	Option	Option	Non
Echange de phase dans la cuvette	Option	Option	Option	Non
Echange de phase dans la goutte	Option	No	Option	Non
CMC	Option	Yes	No	Non
Goniomètre	Option	Option	Option	Non
Seringue	SGE 50µl à 1 ml		Hamilton 1 à 2,5 ml	Hastelloy C276 2,5 ml
Aiguilles	Acier inoxydable diam. 0.6 à 1.6 / G20 à G14	Acier inoxydable diam. 0.6 à 1.6 / G20 à G14	Acier inoxydable diam. 0.6 à 1.6 / G20 à G14	Acier inoxydable diam. 0.6 à 1.6 / G20 à G14
Cuve verre optique Taille L / l / H (mm)	30x30x70 or 23x15x40	30x30x70 or 23x15x40	30x30x70	25x25x32
Compatibilité chimique	Sans restriction		Hastelloy compatibilité chimique	
Dimensions Instrument L / w / H (cm)	79*57*77	79*57*77	79*57*77	83*91*186 Incl Booster, cellule pression & bain circulant
Poids (full instrument)	≈ 30kg	≈ 30kg	≈ 35kg	≈ 300kg
Définition caméra	USB 2 : 640*480 px, 60 img/s USB 3 : 640*480 px, 120 img/s USB3 Haute définition sur demande Camera rapide 539img/s sur demande			
Compatibilité système exploitation (PC non inclus)	Windows XP-10 32-64 bits	Windows XP-10 32-64 bits	Windows XP-10 32-64 bits	Windows XP-10 32-64 bits

TECLIS Scientific est une société française spécialisée dans les instruments de mesure et les services pour la science des interfaces depuis Plus de 25 ans.

TECLIS Scientific conçoit et commercialise du matériel d'analyse et fournit une expertise scientifique pour caractériser les systèmes dispersés comme les mousses et les émulsions et pour caractériser l'énergie de surface des solides.

La technologie logicielle basée sur l'analyse d'image est intégrée dans tous nos instruments. Une gamme complète d'appareils de mesures a été développée pour étudier et comprendre les propriétés interfaciales des systèmes liquide / liquide, solide / liquide et gaz / liquide.

TECLIS Scientific utilise une ingénierie innovante pour développer des instruments et des solutions logicielles performantes et faciles à utiliser pour les chercheurs.



## *Instruments de mesure pour la science des interfaces*

### **Siège Social France**

TECLIS Instruments - 22 ch. des prés secs – 69380 Civrieux d'Azergues – France

### **Bureau USA/Canada**

MGA Technologies / TECLIS Instruments

6823 Boul St-Laurent suite, 202 Montréal QC H2S3C8 – Canada

### **Bureau Chine**

Shanghai HD Automation Co., Ltd. / TECLIS Instruments

Building No.3, 781 Minjing Road, 200438 Shanghai – China

[contact@teclis-scientific.com](mailto:contact@teclis-scientific.com)