



gembloux
agro bio tech

Université
de Liège



Imagerie par ombroscopie avec éclairage LED

Application à la caractérisation bidimensionnelle d'un
champ de gouttes

Pr Frédéric Lebeau
Nicolas De Cock



Plan de l'exposé

- Introduction
- Acquisition d'images
- Traitement d'images
- Analyse d'images
- Applications
- Conclusion

- Technique de base qui permet de caractériser les écoulements diphasiques (gouttes, particules ou bulles) dans un très large champ d'applications; traitement de surface, combustion, pharmacie, protection incendie, procédés industriels et agriculture.

Introduction

- Parmi les différentes sources d'éclairage possibles, l'accent sera mis sur l'utilisation de LEDs qui sont très modulables, présentent des coûts réduits et permettent de très courtes impulsions à très haute fréquence compatibles avec l'imagerie rapide.

Acquisition d'images

- Matériel de mesure
 - Capteur matriciel
 - Source lumineuse
 - Optique

Acquisition d'images

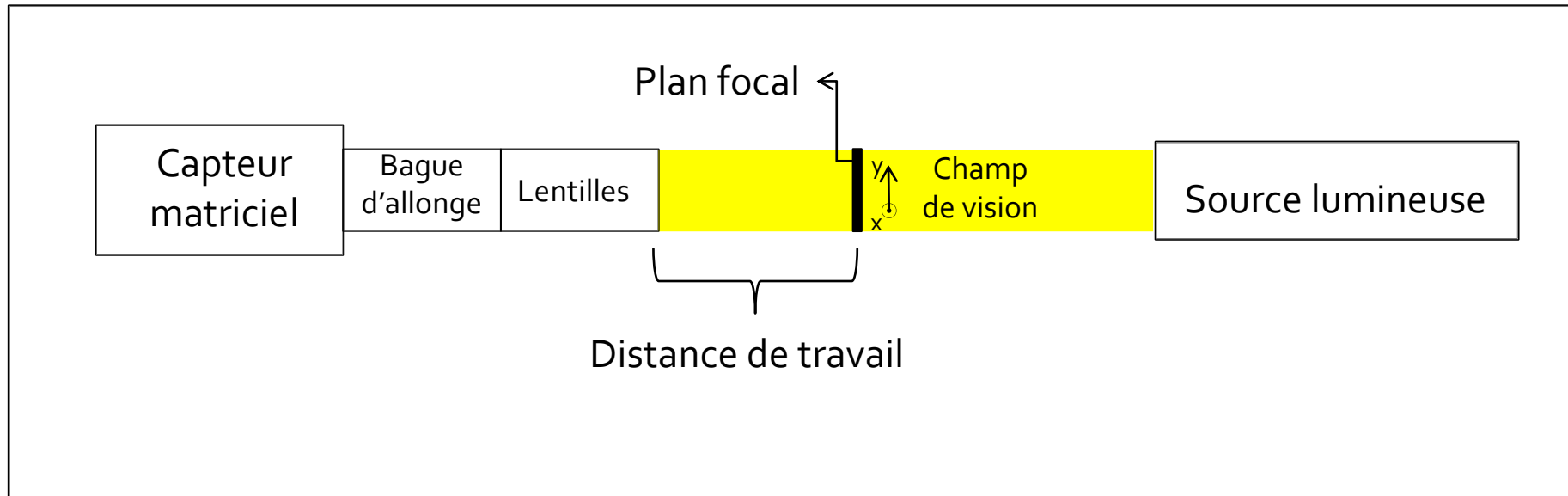
- Critères de choix d'un capteur matriciel adapté
 - Résolution spatiale : Mpixels
 - Effet direct sur la gamme de mesure des particules
 - Sensibilité ISO
 - Effet sur le temps d'exposition minimal et donc sur les vitesses maximales des particules
 - Double obturation
 - Possibilité d'intervalles moins de 100 ns permettant de mesurer de très hautes vitesses
 - Fréquence d'acquisition :
 - Possibilité de suivi de trajectoire caméra kHz voir MHz
 - Choix technologique :
 - CCD, 3CCD, CMOS

- Critères de choix d'une source lumineuse adaptée
 - Puissance nécessaire
 - Effet direct de la puissance de l'éclairage sur le temps d'exposition minimal (éventuellement overdrive)
 - Caractéristique des impulsions
 - Gamme de fréquences, durée minimale de l'impulsion, temps de réponse
 - Choix technologique :
 - Laser, Xenon, LEDs,...

- Critère de choix d'une optique adaptée
 - Combinaison de lentilles et bagues d'allonge
 - Profondeur de champ
 - Distance de travail
 - Champ de vision (grossissement)
 - Luminosité

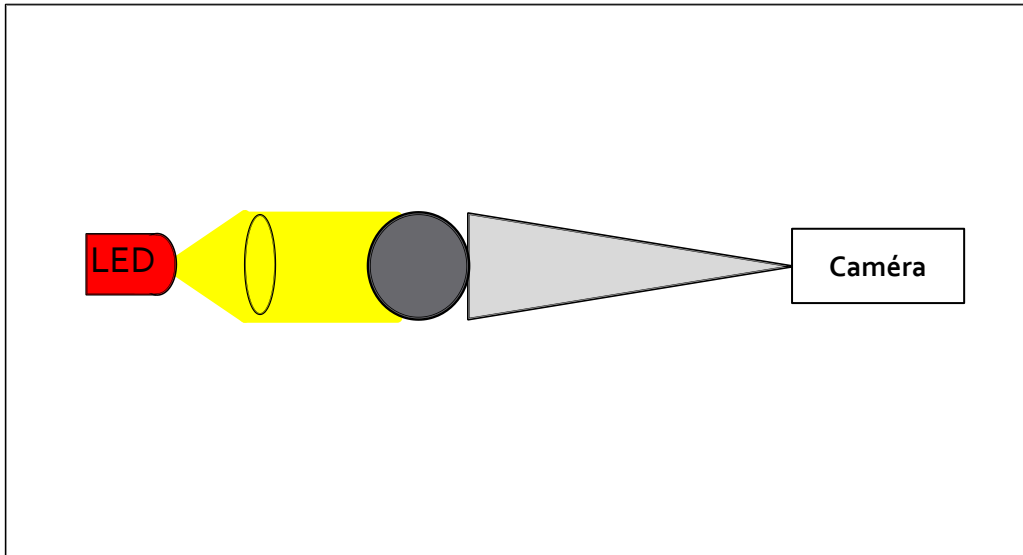
Acquisition d'images

- Dispositif de mesure



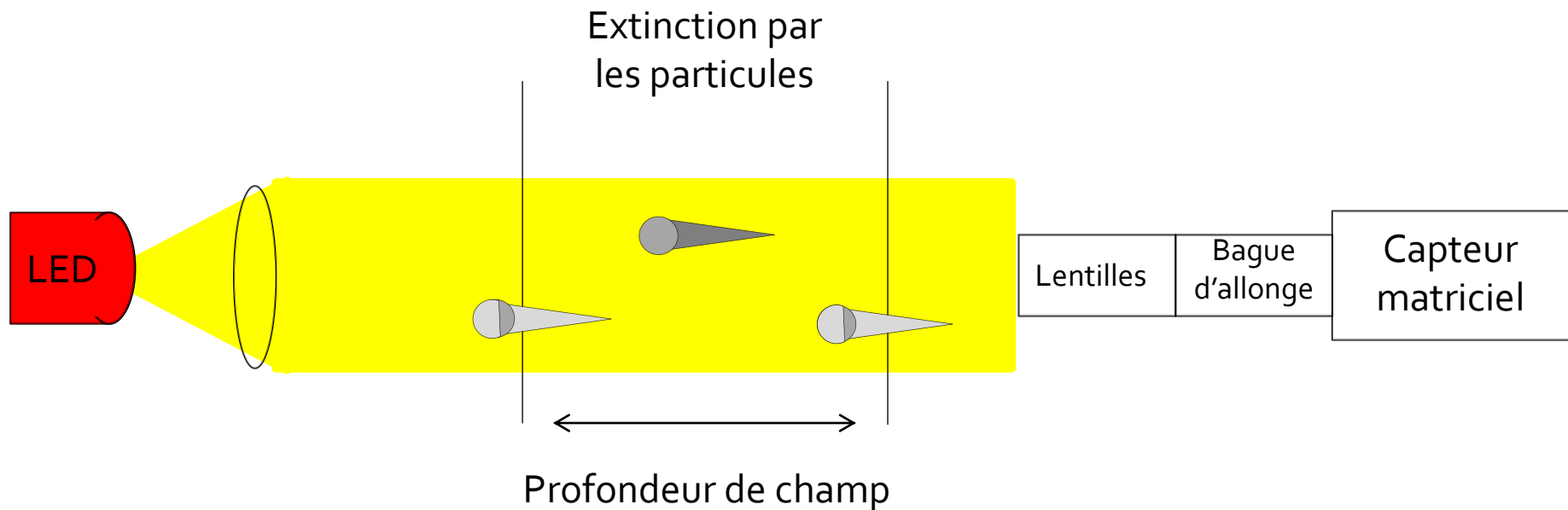
Acquisition d'images

- Les particules apparaissent à l'image sous forme d'ombres



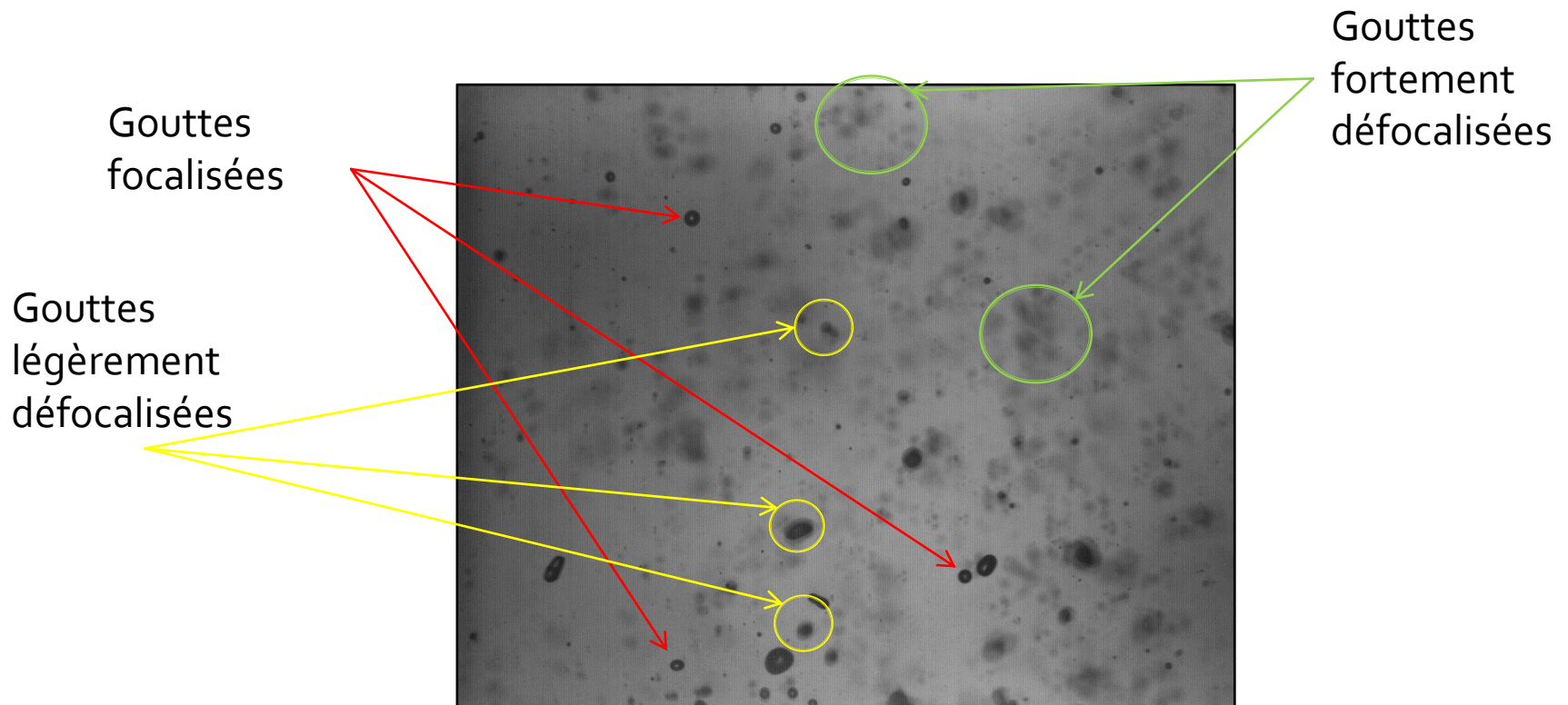
Acquisition d'images

- La contribution des particules à l'extinction est plus grande dans le plan de focalisation



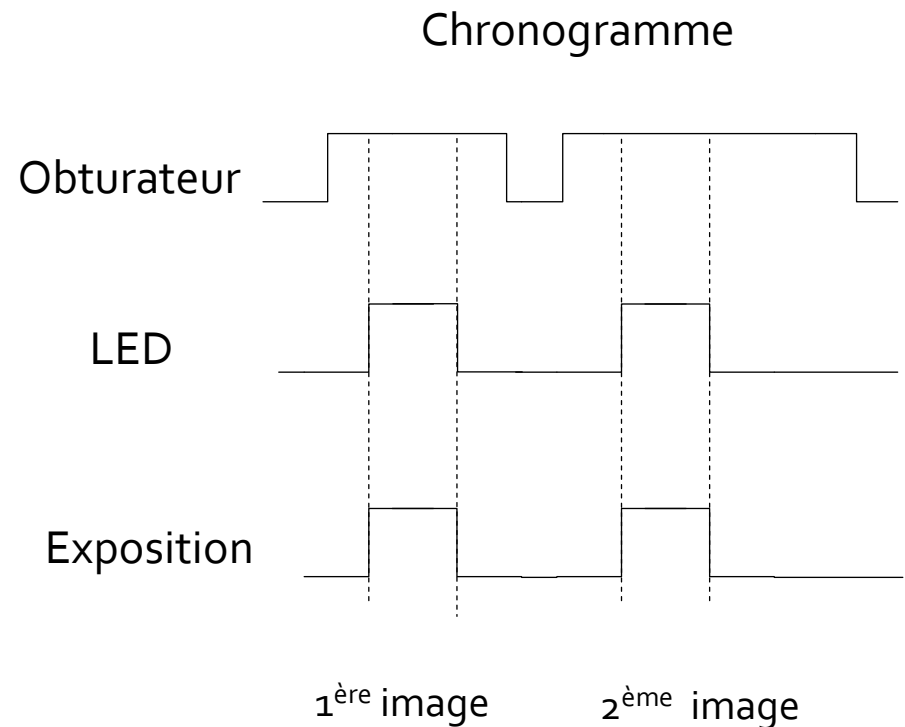
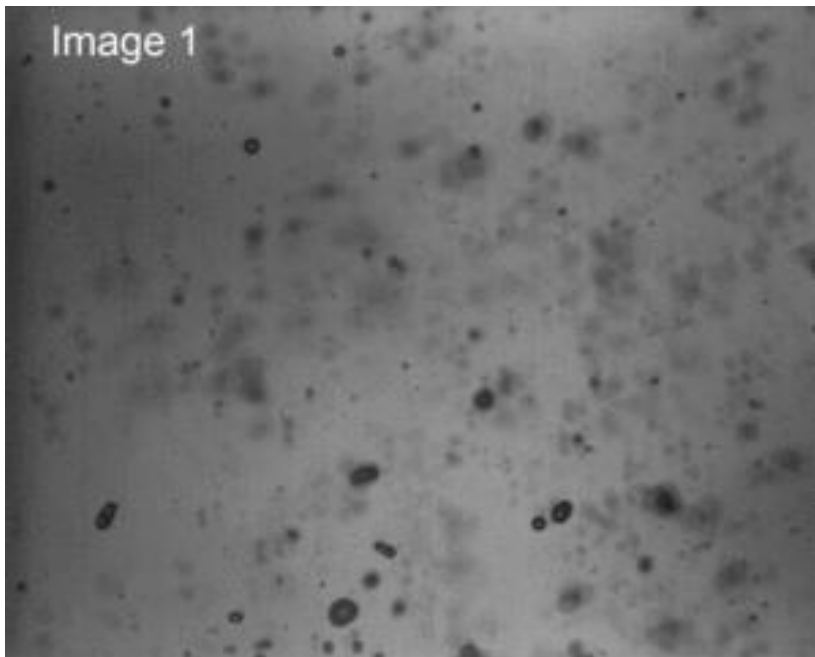
Acquisition d'images

■ Exemple d'acquisition



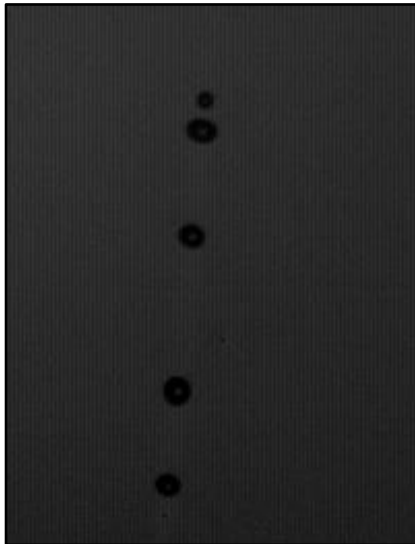
Acquisition d'images

- Acquisition en double impulsion

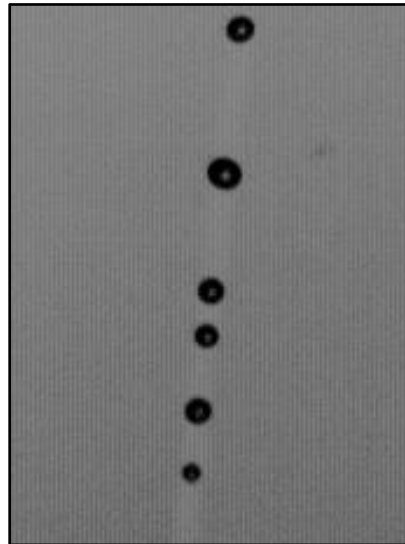


Acquisition d'images

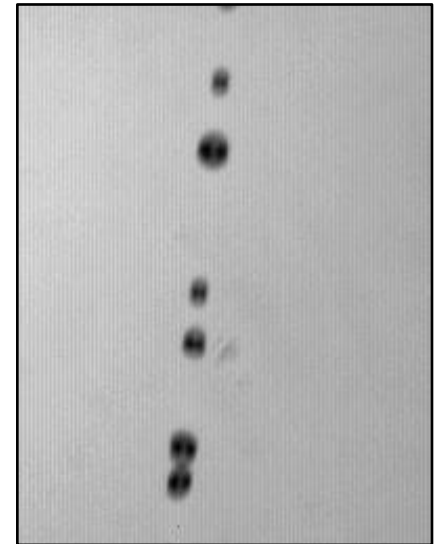
- Effet du temps d'exposition (LEDs pulsées):



Court
Net, sous
exposé



Correct
Netteté et exposition
satisfaisantes

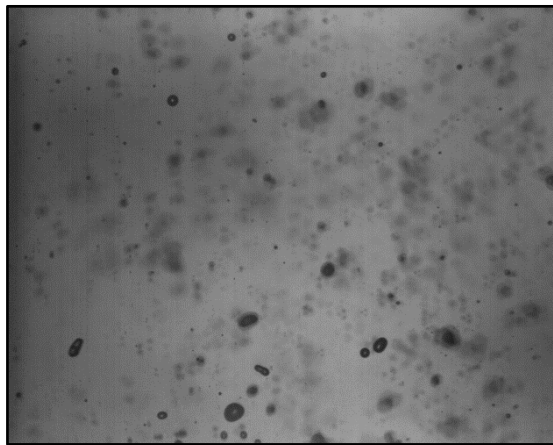


Long
Bonne exposition
Netteté insuffisante

Traitement d'images

- Correction de la non uniformité de l'éclairage par post traitement

Image
originale



Fond
moyen

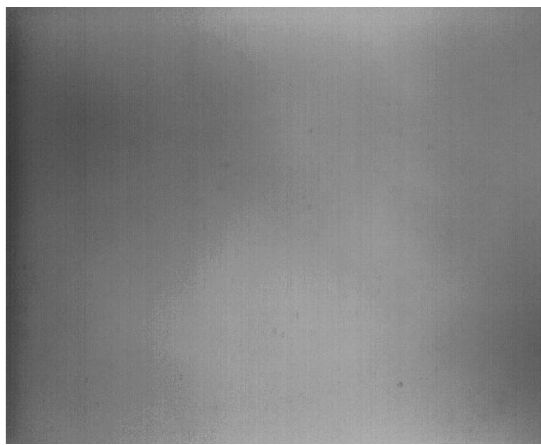
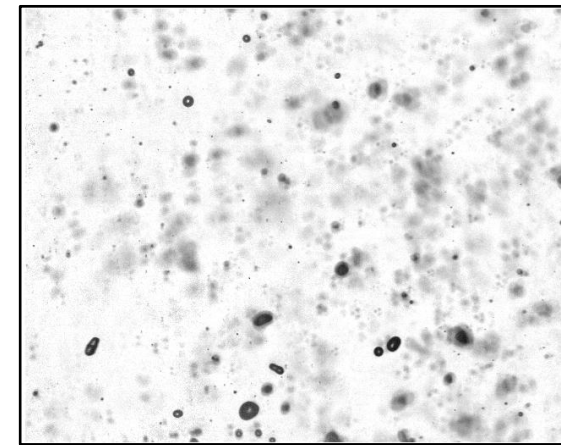
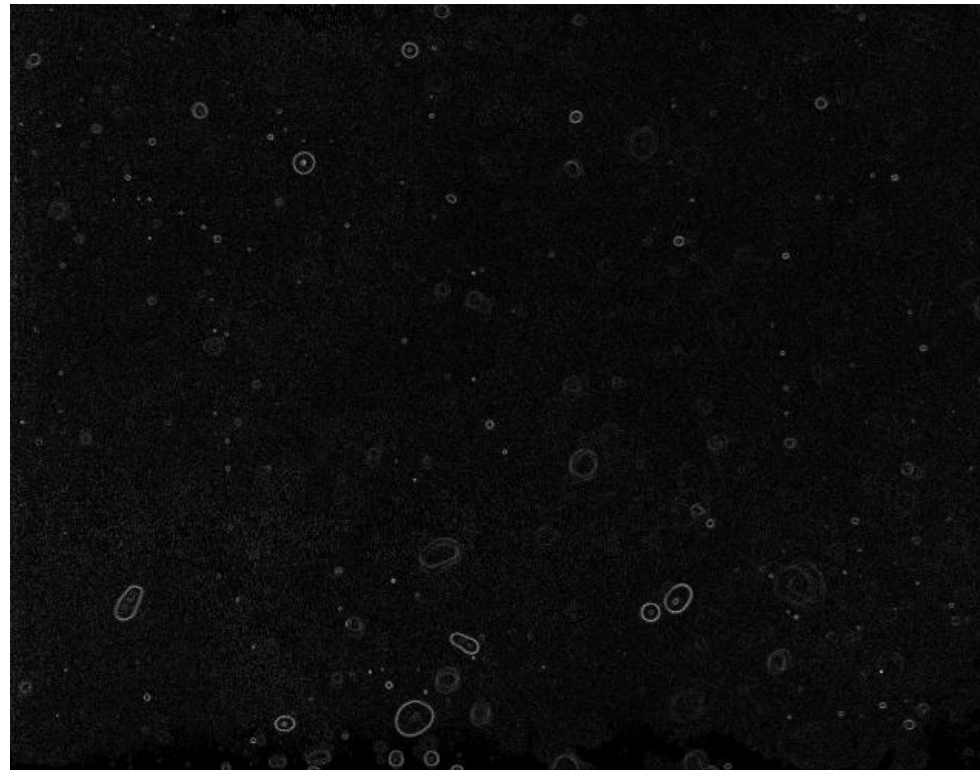


Image après
traitement



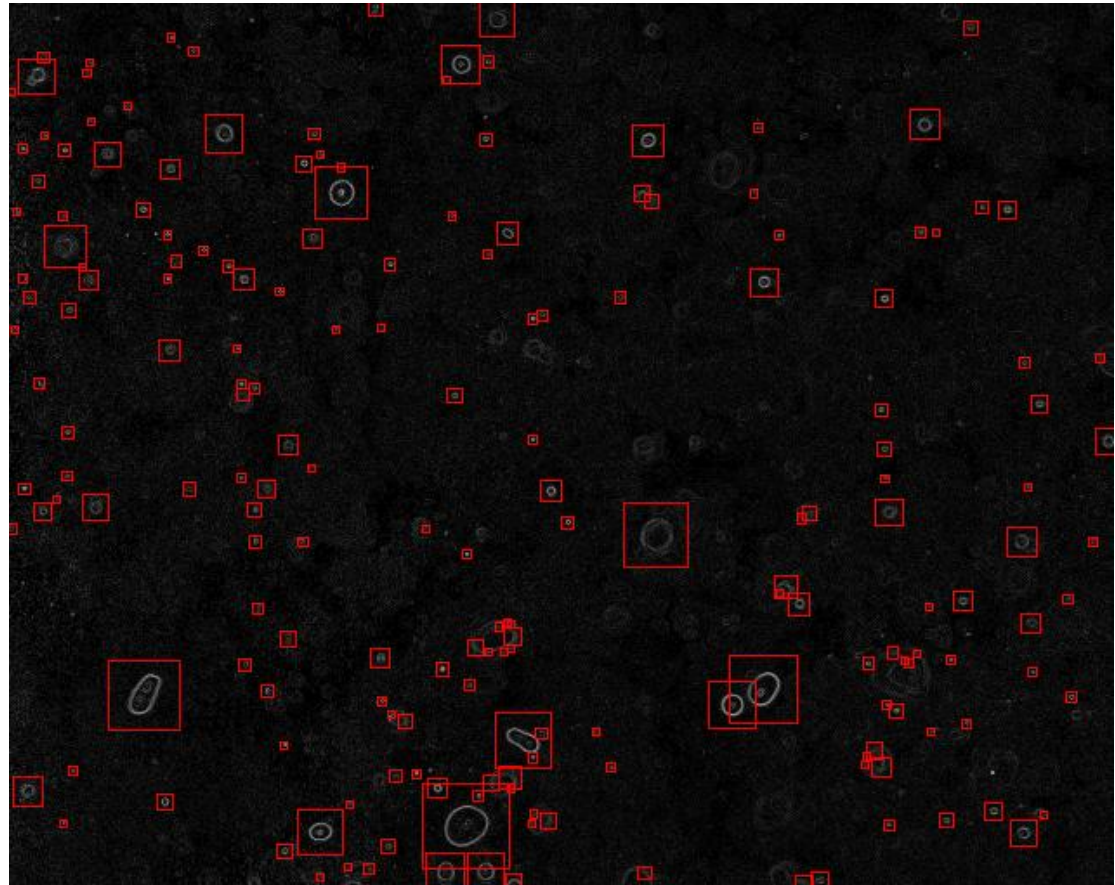
Traitement d'images

- Identification des objets présents sur l'image:
Applications de techniques classiques de segmentation
 - Calcul des gradients
 - Seuillage de l'image
 -



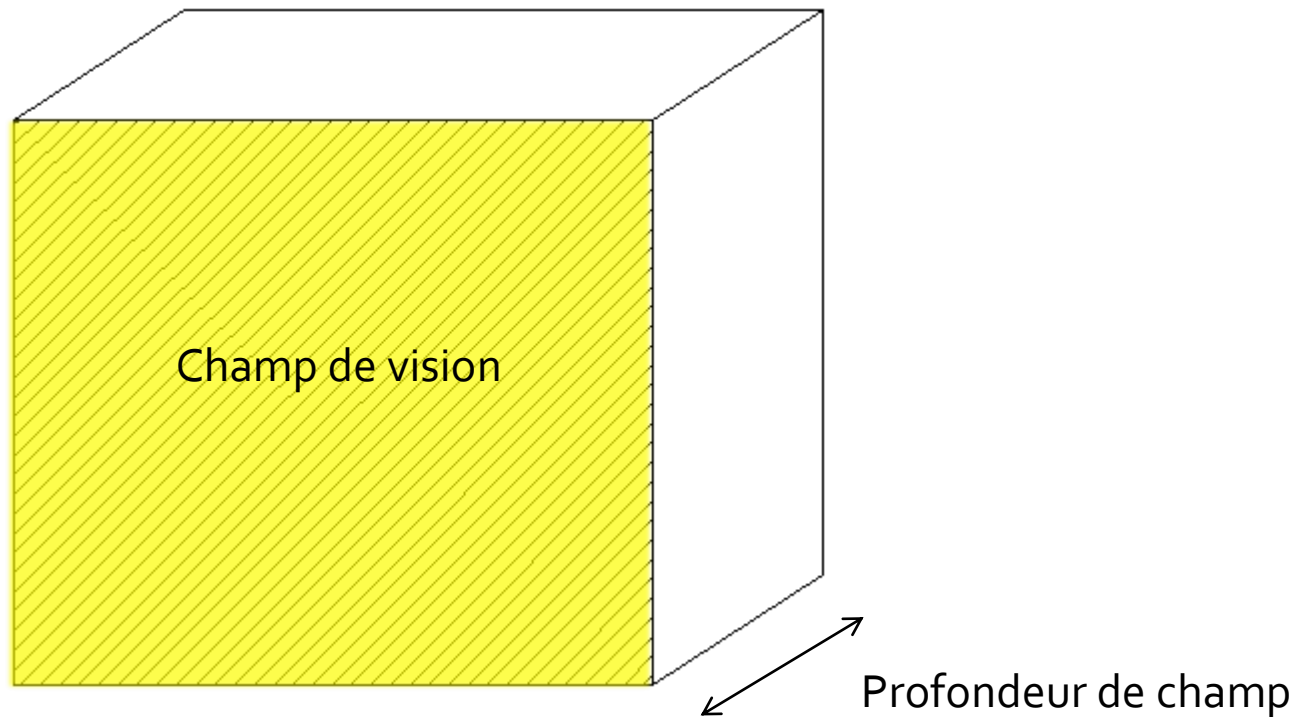
Traitement d'images

- Une fois les objets grossièrement identifiés, chaque objet fait l'objet d'un traitement spécifique en vue d'extraire ses paramètres



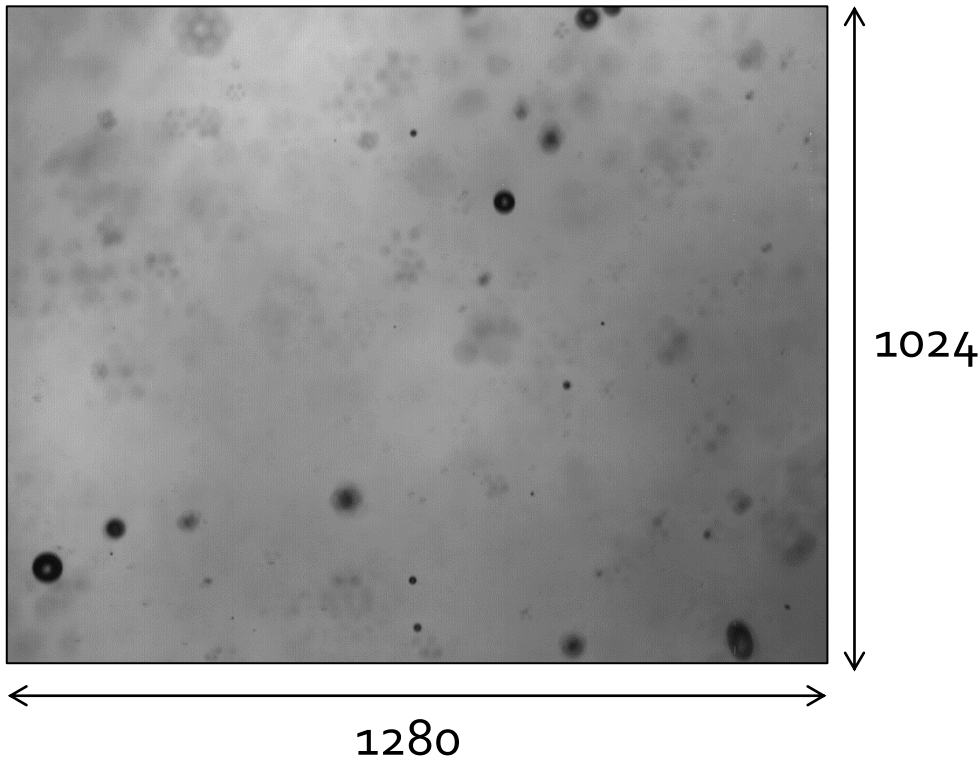
- Chaque sous image est analysée en adaptant les paramètres du traitement à :
 - L'arrière fond local
 - Permet de compenser la présence de gouttes défocalisées après la soustraction du fond moyen
 - La taille approximative de la particule
 - La taille influençant directement l'intensité de l'ombre de la goutte (efficacité de l'extinction) une adaptation des seuils est nécessaire

- Détermination du volume de mesure

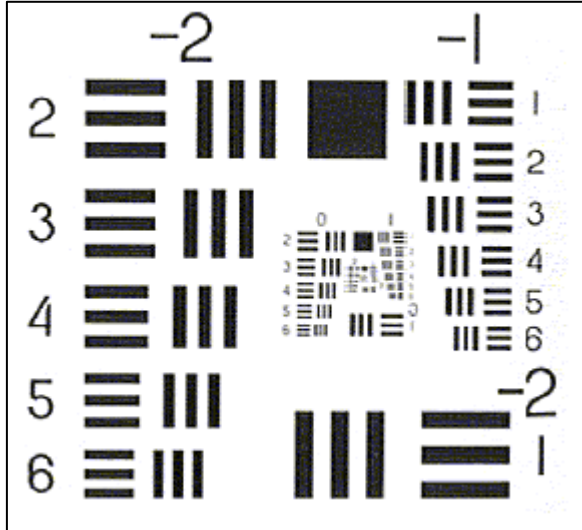


Analyse d'images

- Le champ de vision nécessite une procédure de calibrage dimensionnel



- Exemple de procédure
 - Détermination de la distance représentée par un pixel

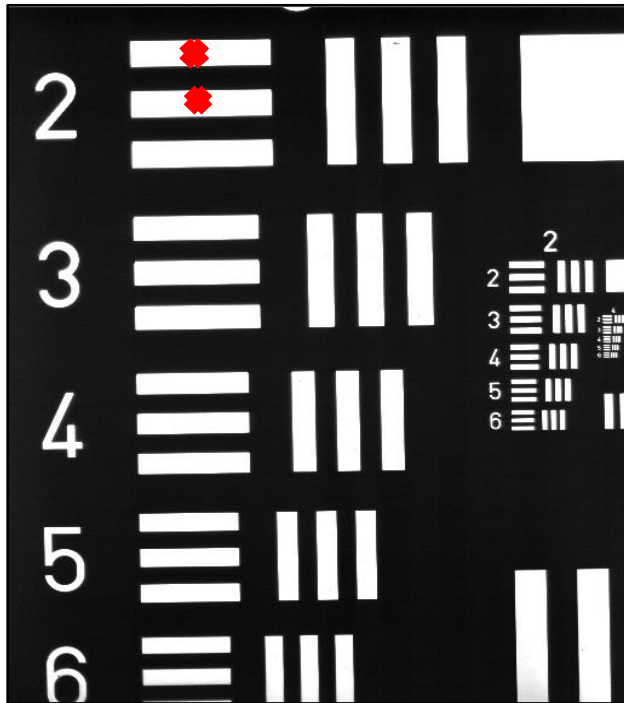


Test USAF 1951

Nombre de paire de lignes / mm							
Elément	Groupe						
	0	1	2	3	4	5	6
1	1	2	4	8	16	32	64
2	1,12	2,24	4,48	8,96	17,92	35,84	71,68
3	1,26	2,52	5,04	10,08	20,16	40,32	80,64
4	1,41	2,82	5,64	11,28	22,56	45,12	90,24
5	1,59	3,18	6,36	12,72	25,44	50,88	101,76
6	1,78	3,56	7,12	14,24	28,48	56,96	113,92

Echelle

- Possibilité d'automatisation de la procédure



Acquisition de la mire

Entrées

N° groupe, N°
élément, image



Ouverture de
l'image et sélection
des lignes



Sortie

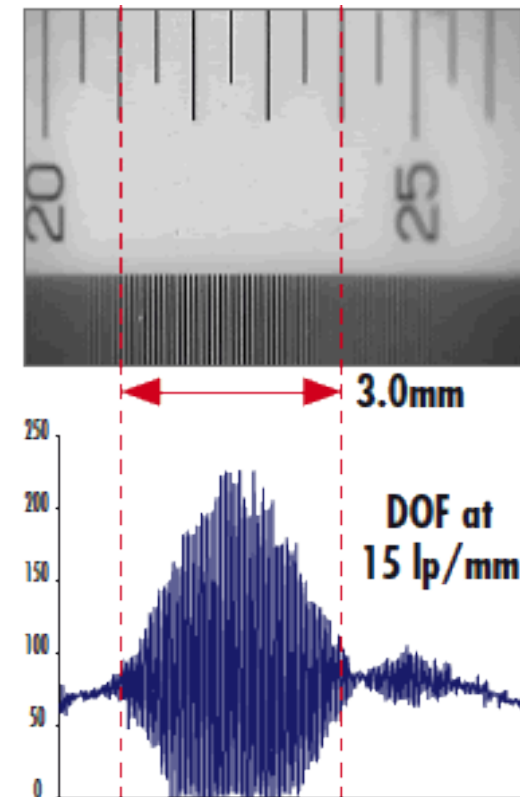
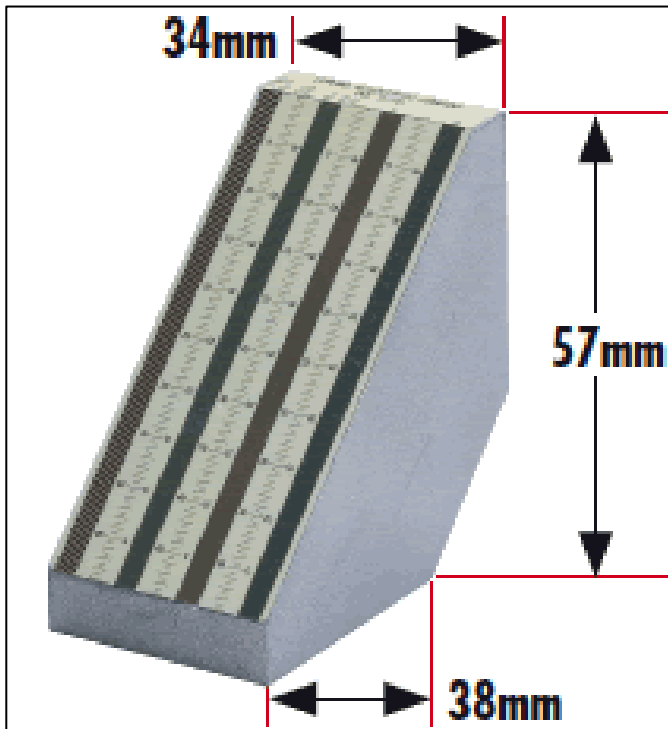
Taille d'un pixel

- Mesure de différents paramètres caractéristiques des objets
 - Paramètres de forme classiques
 - Aire, diamètres, circularité,...

- La profondeur de champ, « Distance comprise entre l'objet le plus proche et l'objet le plus éloigné de l'objectif que l'on considère comme acceptablement net », fonction de la distance focale, de l'ouverture du diaphragme,... nécessite également un calibrage.
 - Mire
 - Jet monodisperse

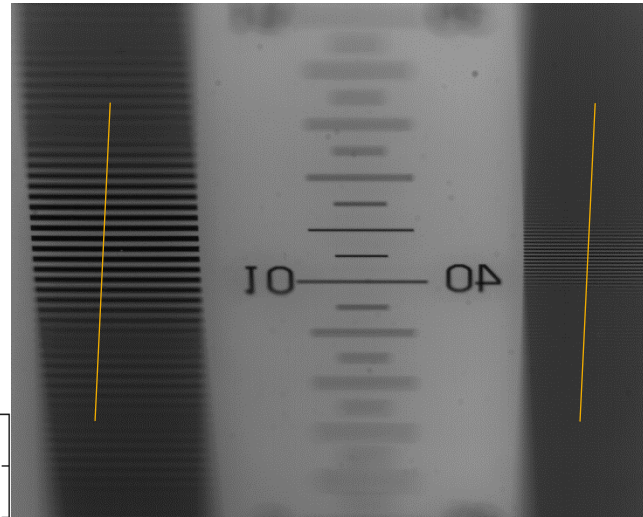
Analyse d'images

- Détermination à l'aide d'une mire optique

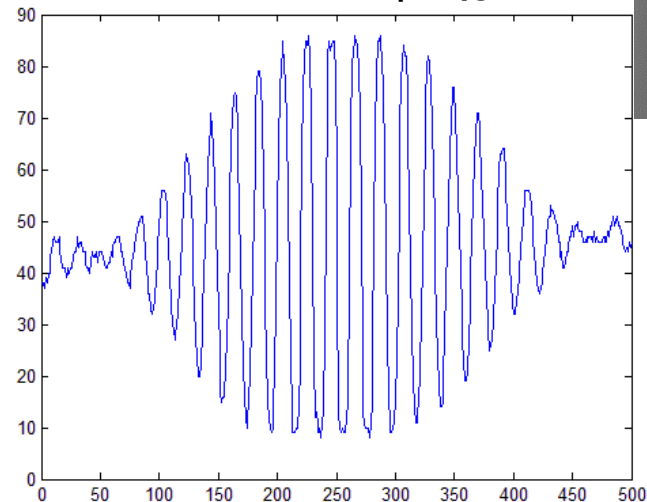


Analyse d'images

■ Détermination à l'aide d'une mire optique

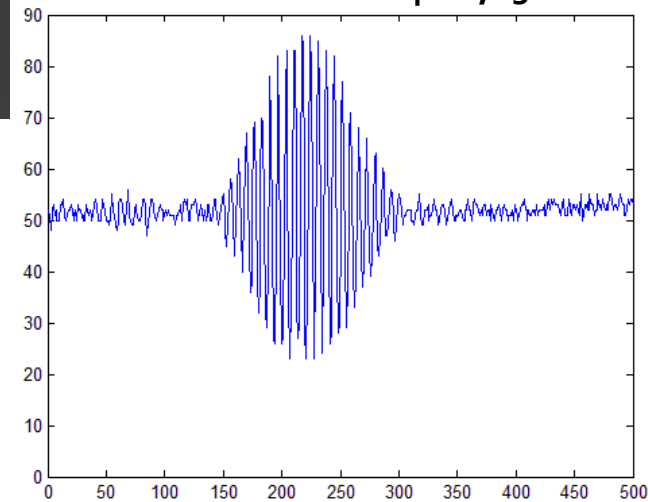


5 lp/mm
ligne de 100 μ m
Profondeur de champ : 2,5mm



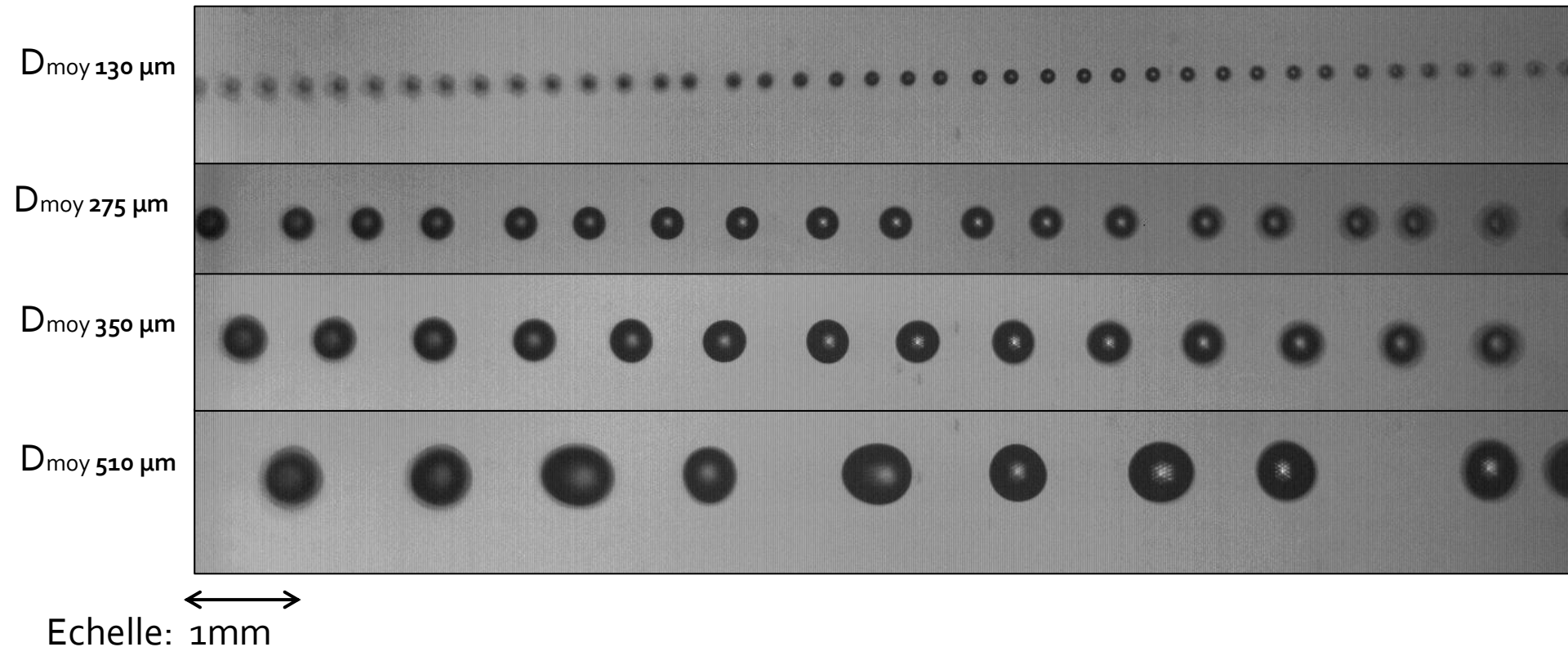
Problématique du choix de
l'échelle qui convient à
l'application qui est souvent
polydisperse.

15 lp/mm
ligne de 33,33 μ m
Profondeur de champ : 0,85 mm



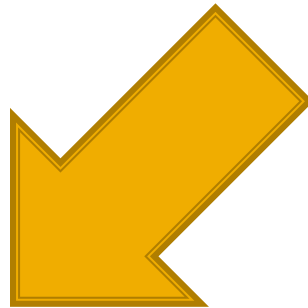
Analyse d'images

- Détermination à l'aide de jets monodispersés traversant le champ de vision à un angle déterminé

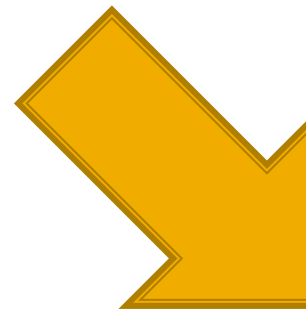


- Critère de focalisation
 - i.e. gradient, double seuillage (l'objet est considéré comme net si la différence entre les deux tailles mesurées ne dépasse pas la différence admise pour cette classe de diamètre)

La profondeur de champ
varie avec la taille de l'objet



Adapter les paramètres de
l'analyse d'images



Adapter le volume de mesure
à la taille de l'objet

- L'identification des paires d'objets entre les images se base sur trois paramètres
 - La taille
 - Les deux objets doivent posséder dans une limite admissible la même taille
 - La direction
 - Connaissant la direction de l'écoulement, le déplacement de l'objet est limité à la direction de celui-ci
 - Le déplacement
 - A partir de la taille de la goutte et de mesures précédentes, le déplacement maximal probable peut être établi

- La vitesse s'obtient divisant le déplacement effectué par l'objet par l'intervalle de temps entre deux images. En raison des différences de vitesse des particules, il est nécessaire d'effectuer un choix judicieux de l'intervalle sur base du déplacement
- Avec des caméras rapides, il est possible de faire du suivi de trajectoire et de la caractérisation d'impact.

- Application à GxABT
 - Amélioration de pulvérisation en agriculture
 - Granulométrie
 - Rupture
 - Impact
 - Autres applications
 - Poussières
 - Engrais
 - Erosion

Applications

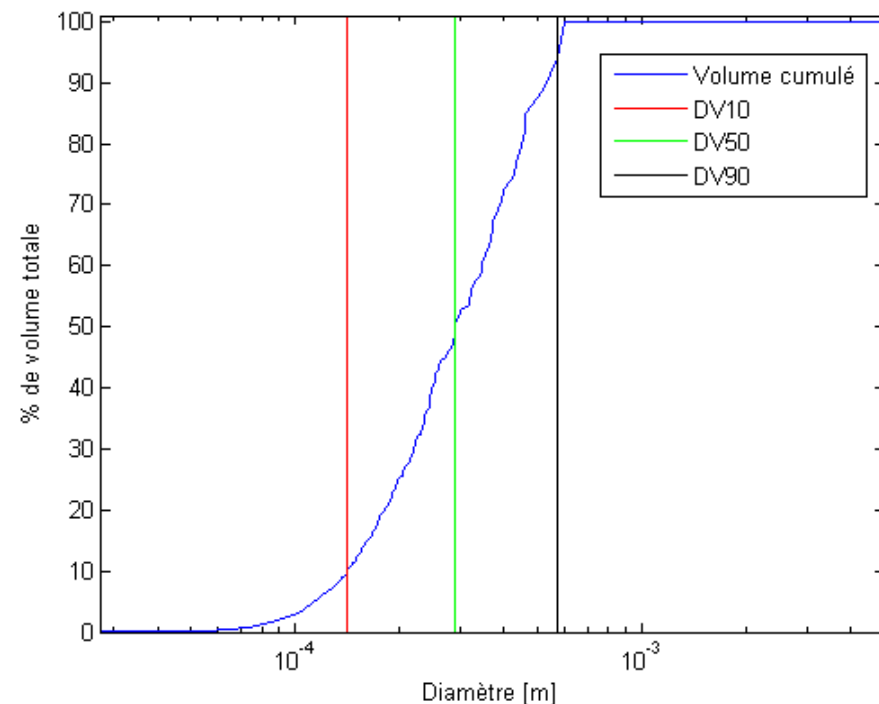
Matériel utilisé

Université
de Liège



- Capteur matriciel
 - XS-3 (IDT)
 - 1280x1024
 - Fréquence maximale d'acquisition à pleine résolution: 517 images/seconde
 - Possibilité de double impulsion
- Source lumineuse
 - Panneau de 24 LEDs de 3W couplé à un contrôleur « Gardasoft RT201 » à résolution de 1 μ s
- Optique
 - Rodenstock (ratio 1/1)

- Caractérisation du spray
 - Granulométrie.vitesse essentielle pour caractériser les techniques d'application de produits phytosanitaires
 - Enjeux: absence de concordance entre les techniques de référence



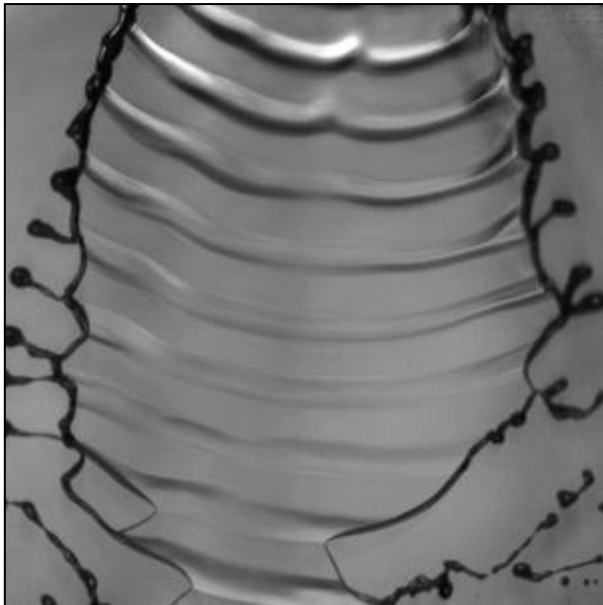
Applications

Etude de la rupture forcée

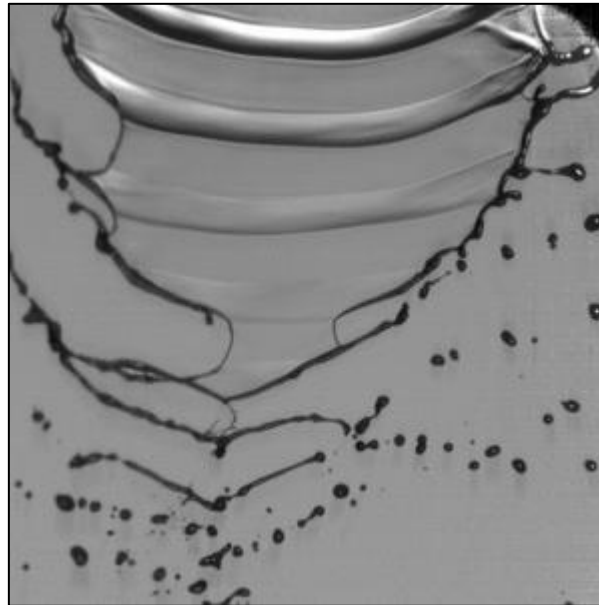
Université
de Liège



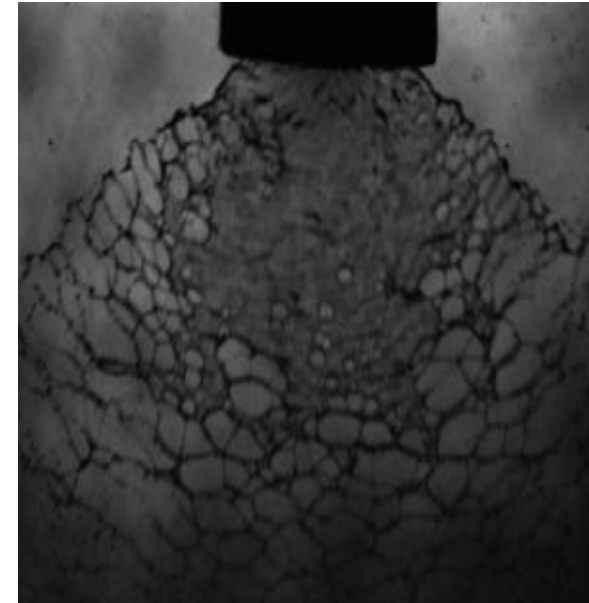
- Rupture forcée à la sortie de la buse de différentes formulations



Rupture forcée eau



Rupture forcée glycérine



Rupture libre cmc

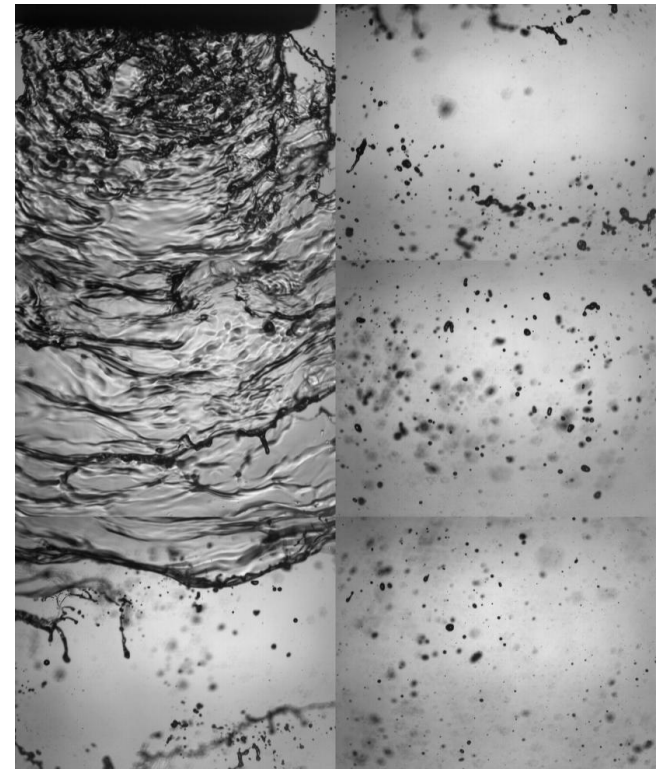
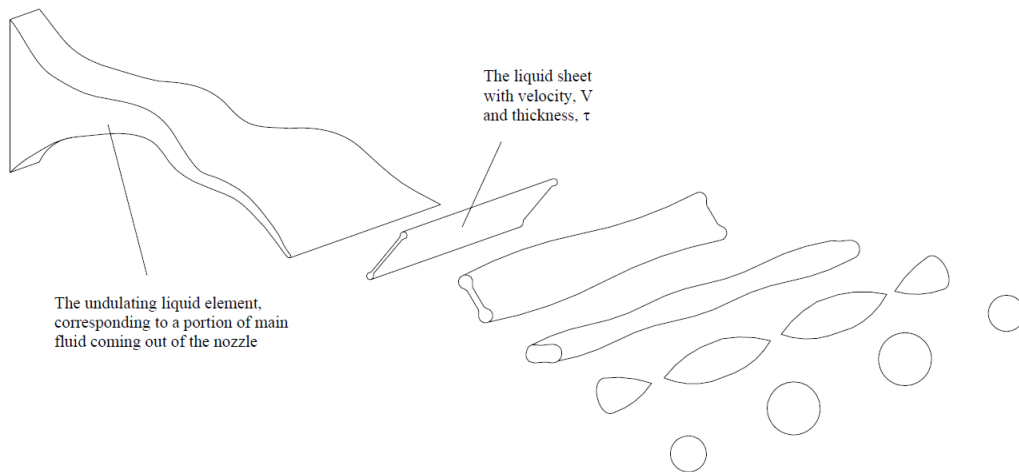
Applications

Etude de la rupture libre

Université
de Liège



- Rupture libre à différentes distances de l'orifice de la buse



Applications

Etude de l'impact

Université
de Liège



- Impact d'eau sur une surface superhydrophobe représentative d'une feuille de blé



Conclusion

- Grande polyvalence, applicable à une grande variété de cas
- Large gamme de vitesse , diamètres mesurable
- Coût maîtrisés
- Problématique de l'accès optique si la densité des particules est trop élevée

- Fournel, T., Schon, J.-P. & Fournier, C., 2007. *Mesures de caractéristiques d'écoulement par imagerie numérique*, s.l.: Techniques de l'ingénieur.
- Estevadeordal, J. & Goss, L., 2006. PIV with LED: Particle Shadow Velocimetry (PSV), American Institute of Aeronautics and Astronautics