



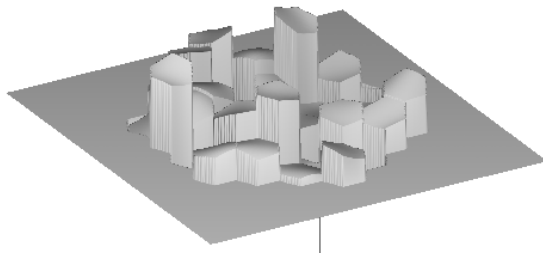
# Mesure de surfaces d'onde segmentées : comment dissocier sauts de phase et aberrations classiques ?

Bruno Toulon, Jérôme Primot, Nicolas Guérineau, Sabrina Velghe



r e t u r n   o n   i n n o v a t i o n

## Mesure de fronts d'onde segmentés ?



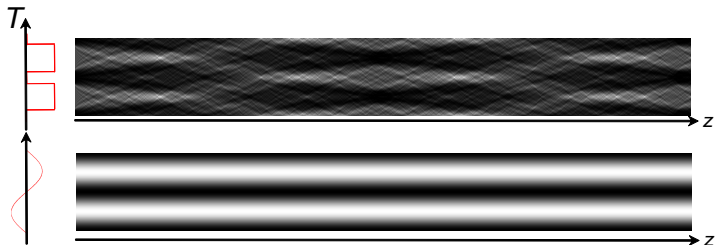
- Interférométrie à 4 ondes
- Application aux fronts d'onde segmentés
- Vers une mesure dissociée des steps
- Démonstration expérimentale

## *Une description géométrique*

- Dispositif à base de réseau ;
  - le réseau est un «tableau non-diffractant» (*non-diffracting array*) : on canalise l'énergie dans des pinceaux lumineux ;
- 
- le rêve de l'opticien : pouvoir faire du tracé de rayons.  
L'interférogramme se voit alors comme un *spot diagram*.

## Une description géométrique

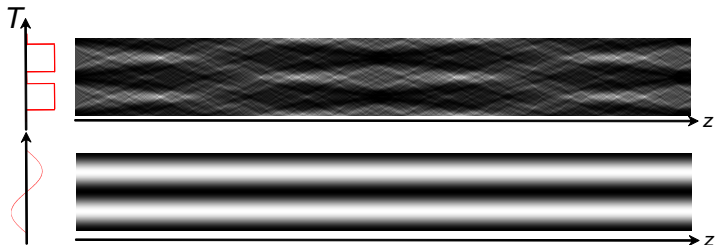
- Dispositif à base de réseau ;
- le réseau est un «tableau non-diffractant» (*non-diffracting array*) : on canalise l'énergie dans des pinces lumineuses ;



- le rêve de l'opticien : pouvoir faire du tracé de rayons.  
L'interférogramme se voit alors comme un *spot diagram*.

## Une description géométrique

- Dispositif à base de réseau ;
- le réseau est un «tableau non-diffractant» (*non-diffracting array*) : on canalise l'énergie dans des pinces lumineuses ;

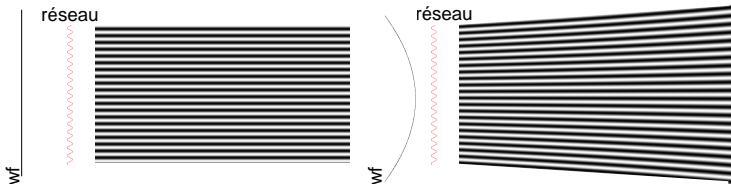


- le rêve de l'opticien : pouvoir faire du tracé de rayons. L'interférogramme se voit alors comme un *spot diagram*.

## *Une description géométrique*

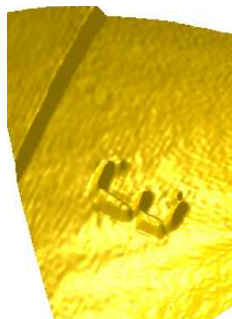
Illustration :

front d'onde sans aberration ; front d'onde avec une défocalisation :



## *Les avantages*

- 1 caractérisation bi-dimensionnelle en une seule mesure ;
  - 2 compacité grâce au réseau ;
  - 3 simplicité de mise en œuvre ;
  - 4 sensibilité/dynamique réglable ;
  - 5 achromaticité du dispositif ;
  - 6 nombre de points de mesure ;
- ⇒ résolution spatiale élevée.





- Interférométrie à 4 ondes
- Application aux fronts d'onde segmentés
- Vers une mesure dissociée des steps
- Démonstration expérimentale

## Définition

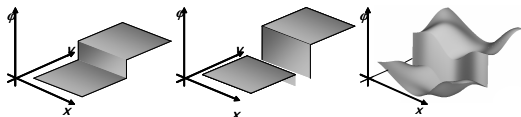
Apposition discontinues de surfaces continues.

Exemples :

## Définition

Apposition discontinues de surfaces continues.

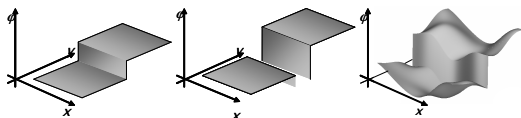
Exemples :



## Définition

Apposition discontinues de surfaces continues.

Exemples :



Applications :

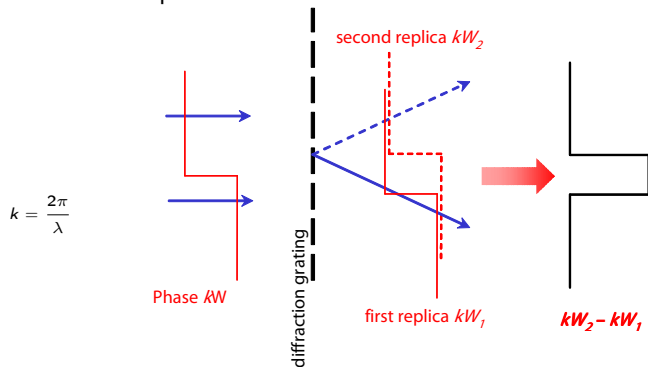
- astronomie : phasage des miroirs segmentés ;
- contrôle qualité (optiques diffractives, dépôts métalliques...);
- recombinaison cohérentes de faisceaux laser (projet ANR CAN).

# Fronts d'onde segmentés

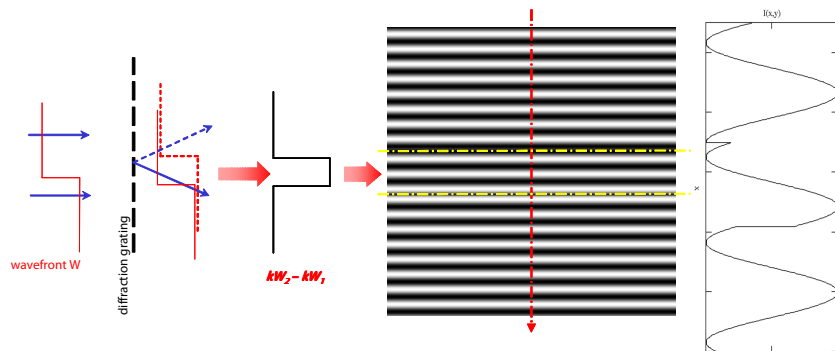
## Analyse d'un step

L'interférogramme est sensible à la différence des phases  $kW_2 - kW_1$

Avec deux ondes pour commencer :



## Analyse d'un step : l'interférogramme



- Interférométrie à 4 ondes
- Application aux fronts d'onde segmentés
- Vers une mesure dissociée des steps
- Démonstration expérimentale

# Vers une mesure dissociée des steps

## *(A)chromatisme*

- L'interférogramme est sensible à  $kW_2 - kW_1 \Rightarrow$  chromatique sur les steps ;
- mais toujours achromatique sur les parties continues ;

$\Rightarrow$  On peut étendre la dynamique de mesure !  
 $\Rightarrow$  On peut faire un traitement dissocié des steps !



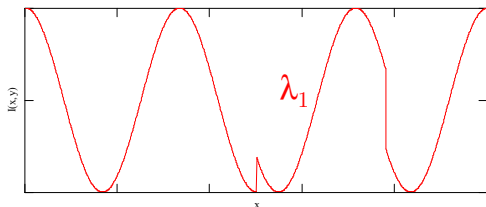
# Vers une mesure dissociée des steps

## (A)chromatisme

- L'interférogramme est sensible à  $kW_2 - kW_1 \Rightarrow$  chromatique sur les steps ;
- mais toujours achromatique sur les parties continues ;

$\Rightarrow$  On peut étendre la dynamique de mesure !  
 $\Rightarrow$  On peut faire un traitement dissocié des steps !

Profils d'un interférogramme :



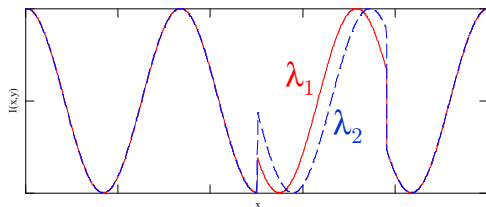
# Vers une mesure dissociée des steps

## (A)chromatisme

- L'interférogramme est sensible à  $kW_2 - kW_1 \Rightarrow$  chromatique sur les steps ;
- mais toujours achromatique sur les parties continues ;

$\Rightarrow$  On peut étendre la dynamique de mesure !  
 $\Rightarrow$  On peut faire un traitement dissocié des steps !

Profils d'un interférogramme :



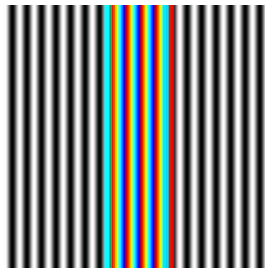
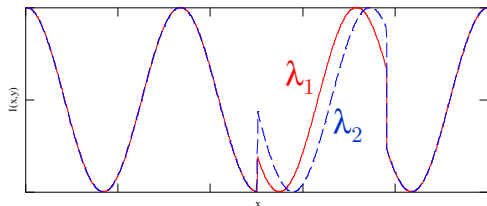
# Vers une mesure dissociée des steps

## (A)chromatisme

- L'interférogramme est sensible à  $kW_2 - kW_1 \Rightarrow$  chromatique sur les steps ;
- mais toujours achromatique sur les parties continues ;

$\Rightarrow$  On peut étendre la dynamique de mesure !  
 $\Rightarrow$  On peut faire un traitement dissocié des steps !

Profils d'un interférogramme :



## *Extension de dynamique*

- Analyse monochromatique : hauteur du step  $h \in [-\lambda/2, +\lambda/2]$  ;
- Analyse bi-couleur : longueur d'onde synthétique :

$$\lambda_s = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}$$

⇒ hauteur de step  $h \in [-\lambda_s/2, +\lambda_s/2]$ .

*Exemple* : si  $\lambda_2 = 1.1\lambda_1$ , alors la dynamique est augmentée d'un facteur 10.

## *Extension de dynamique*

- Analyse monochromatique : hauteur du step  $h \in [-\lambda/2, +\lambda/2]$  ;
- Analyse bi-couleur : longueur d'onde synthétique :

$$\lambda_s = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}$$

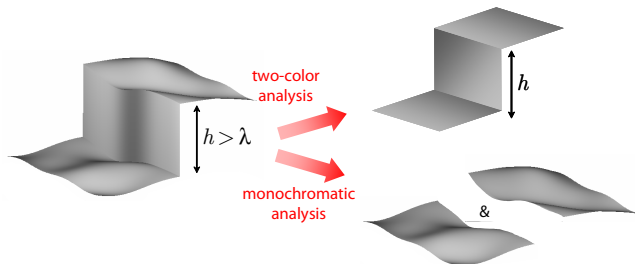
⇒ hauteur de step  $h \in [-\lambda_s/2, +\lambda_s/2]$ .

*Exemple* : si  $\lambda_2 = 1.1\lambda_1$ , alors la dynamique est augmentée d'un facteur 10.

# Vers une mesure dissociée des steps

## Mode step-selective

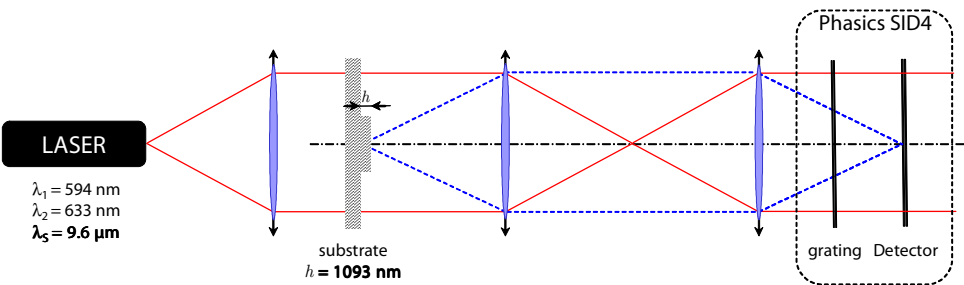
- achromatique à l'intérieur des segments ; chromatique *sur* les steps ;
- ⇒ la technique bi-couleur est *step-selective*,
- ⇔ les aberrations à l'intérieur des segments peuvent être soustraites.



Toulon et al, *Step-selective measurement by grating-based lateral shearing interferometry for segmented telescopes*, Opt. Comm, **279**, 240 (2007)

- Interférométrie à 4 ondes
- Application aux fronts d'onde segmentés
- Vers une mesure dissociée des steps
- Démonstration expérimentale

## Dispositif

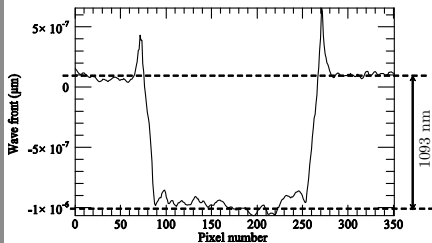
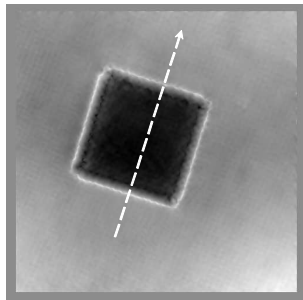


$h = 1093 \text{ nm} > \lambda_1$  and  $> \lambda_2 \Rightarrow$  analyse monochromatique impossible ;

$h = 1093 \text{ nm} < \lambda_s \Rightarrow$  analyse bi-couleur OK.



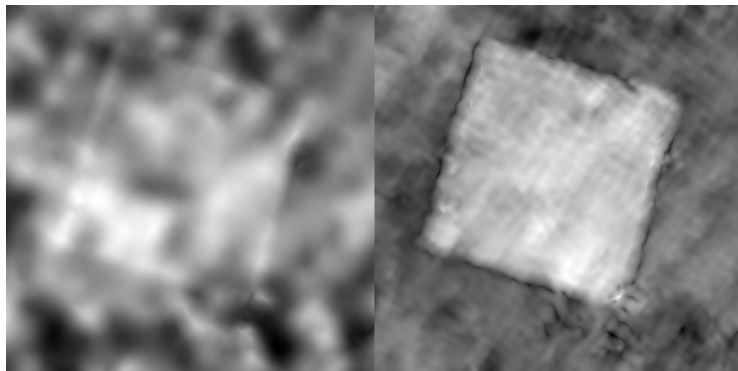
## Extension de la dynamique



Hauteur de step :  $h = 1093 \text{ nm}$  ;  $\lambda_1 = 594 \text{ nm}$  ;  $\lambda_2 = 633 \text{ nm}$ .

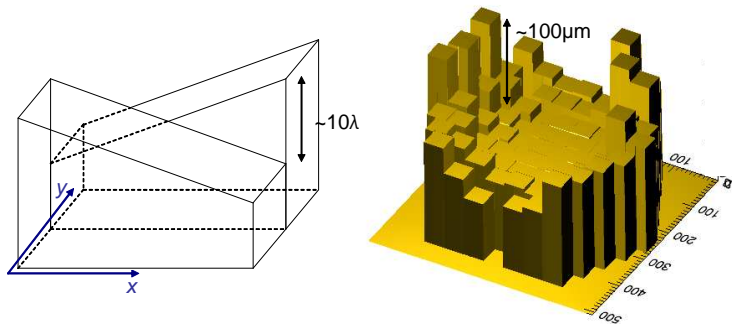
⇒ On mesure la hauteur du step sans ambiguïté.

## *Mode step selective*



⇒ on soustrait l'aberration continue.

Étude de deux objets de référence (Collaboration IOGS) :



- mode step selective avec des step parfaits ;
- mesures de grande dynamique.