

Traitement d'images pour l'aide au rechargement de combustible des CNPE

Nicolas Paul
Lorenzo Audibert
Antoine de Chillaz



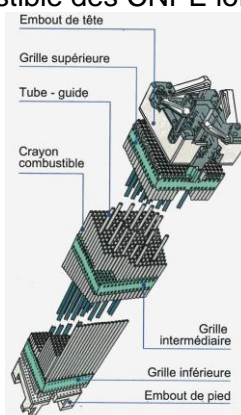
Contexte

- Renouvellement de combustible des CNPE lors des arrêts de tranche

- Assemblage combustible

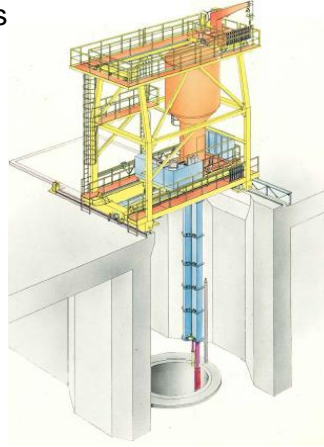
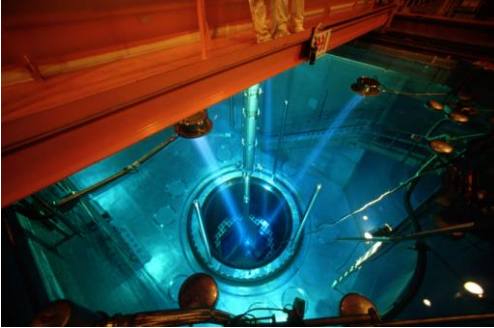
- Longueur : 4-5 m
- Largeur : 214 mm
- Poids total : 650-750 kg
- Nombre de crayons : 264

- 157 à 205 assemblages par réacteur



Contexte

▀ Manutention d'assemblages combustibles

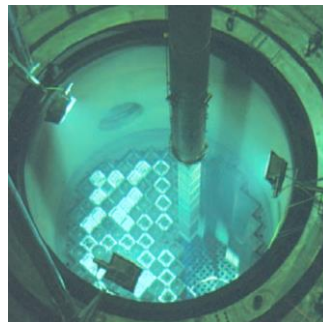


3/48



Contexte

▀ Un plan de cœur...



...contrôlé par inspection télévisuelle



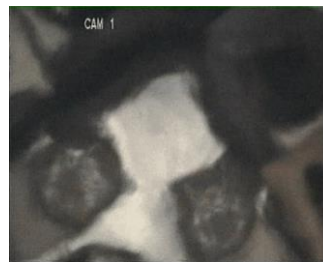
4/48



Contexte

◆ Inspections télévisuelles

- Dégagement de chaleur → perturbation de l'image



■ Conséquences

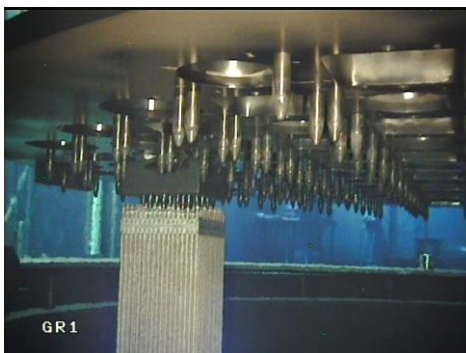
- Incertitude de lecture
- Temps perdu dans la lecture des numéros d'assemblages

5/48



Contexte

◆ Évènements d'accrochage (1998-2008-2009 ...)



Mauvais positionnement
d'assemblage → accrochage



◆ Impact

- ◆ 145 jours d'arrêt
- ◆ Dosimétrie
- ◆ Plusieurs M€ d'achats

6/48



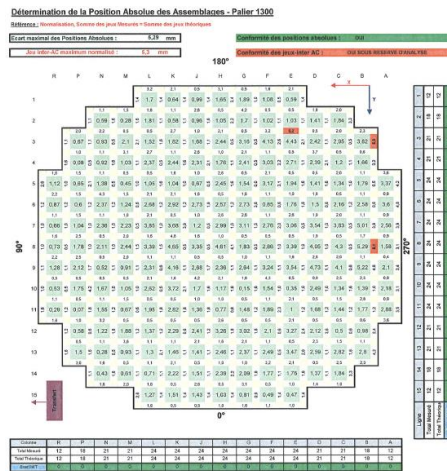
Contexte

👉 Lignes de défense contre les incidents d'accrochage

- Propreté de la plaque inférieure de cœur
- Contrôle des positions des assemblages



Difficulté mesure de jeux



Plan

1. Restauration des images
2. Localisation des assemblages combustibles
3. Valorisation

Plan

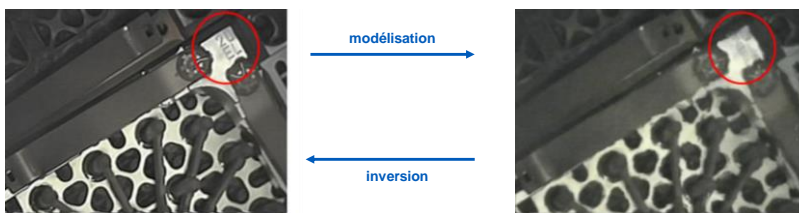
1. Restauration des images
2. Localisation des assemblages combustibles
3. Valorisation

9/48



Problématique

◆ Dégagement de chaleur → perturbation de l'image



◆ Modélisation

- Approche physique
 - Champ des températures, impact sur la propagation, effet sur la séquence vidéo
 - Complexe
- Approche empirique (pragmatique)
 - On modélise directement l'effet des turbulences dans l'image

10/48



Modèle direct : images observées

- ◆ Vidéo = suite d'images = fonction de trois variables

- ◆ indice ligne y
- ◆ indice colonne x
- ◆ numéro de l'image n

$$\mathbf{I}(x, y, n) = \mathbf{I}(\mathbf{x}, n)$$

- ◆ Effet des turbulences dans l'image observée

$$\mathbf{I}(\mathbf{x}, n) = \mathbf{I}_{\text{nette}}(\mathbf{x} + \mathbf{u}_{\mathbf{x}, n})$$

↑ image observée
↑ image nette (inconnue)
↑ déplacement pixel \mathbf{x} à l'image n



11/48



Modèle direct : images observées (2)

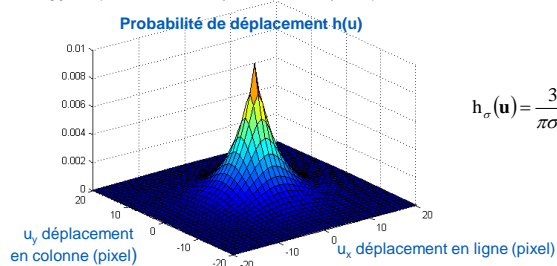
- ◆ Modèle d'observation aléatoire

$$\mathbf{I}(\mathbf{x}, n) = \mathbf{I}_{\text{nette}}(\mathbf{x} + \mathbf{u})$$

↑ image observée
↑ image nette (inconnue)
↑ déplacement aléatoire du pixel \mathbf{x} à l'image n

- ◆ Représentation probabiliste

- \mathbf{u} vecteur des déplacements aléatoires
- densité de probabilité radiale (déplacement isotrope stationnaire) : $h(\mathbf{u})$
- paramétrable: écart-type σ (variabilité des déplacements de pixels)



$$h_{\sigma}(\mathbf{u}) = \frac{3}{\pi\sigma^2} \exp\left\{-\frac{\sqrt{6}\|\mathbf{u}\|}{\sigma}\right\}$$

12/48



Modèle direct : image moyenne observée

Loi des grands nombres

- u variable aléatoire, densité de probabilité $h(u)$
- observations u_n
- f fonction
- la moyenne empirique tend vers l'espérance mathématique :

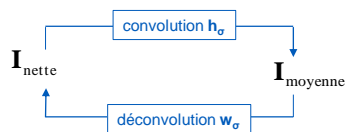
$$\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N f(u_n) \rightarrow \int f(u) h(u) du$$

Dans notre contexte

- u vecteur aléatoire des déplacements de pixels, densité de probabilité $h(u)$
- Avec $f(u) = I_{\text{nette}}(x+u)$:

$$I_{\text{moyenne}}(x) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N I_{\text{nette}}(x+u_n) \rightarrow \int I_{\text{nette}}(x+u) h(u) du$$

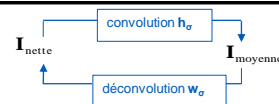
- On reconnaît un produit de convolution = filtrage spatial = « floutage » de l'image nette



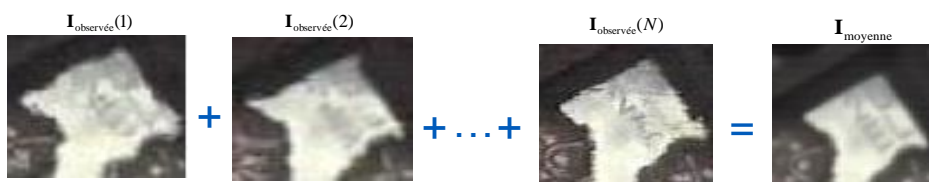
13/48



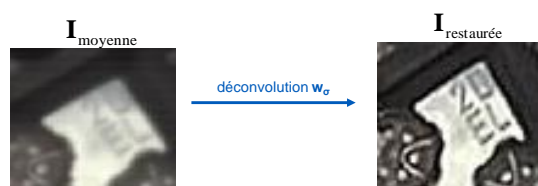
Principe de l'inversion



1/ On calcule une image moyenne



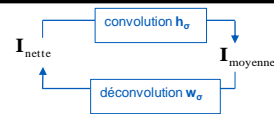
2/ On déconvolue l'image moyenne (filtre spatial)



14/48



Principe de l'inversion (2)



- ◆ Filtre spatial optimal pour la déconvolution (Wiener)

transformée de Fourier du modèle de densité de probabilité des turbulences

$$W_{\sigma}(f) = \frac{H_{\sigma}^*(f)}{\|H_{\sigma}(f)\|^2 + \text{RBS}} \leftarrow \text{rapport bruit sur signal } (\sim 0.01)$$

- ◆ Influence de σ (hypothèse sur l'écart-type des turbulences)



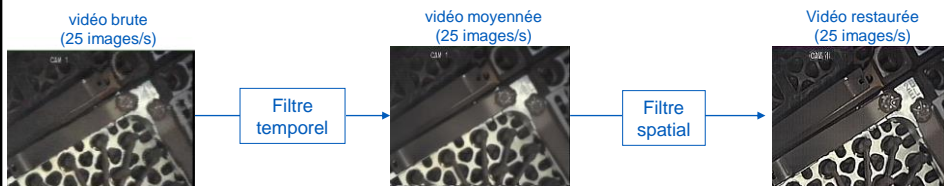
15/48

→ réglage en ligne de σ



Implémentation temps-réel

- ◆ Restauration au fil de l'eau, deux étapes:



- ◆ Filtre temporel

mémoire du filtre

$$I_{\text{moyenne}}(x, n) = \alpha I_{\text{moyenne}}(x, n-1) + (1-\alpha) I(x, n)$$

- ◆ Filtre spatial

$$I_{\text{restaurée}}(x, n) = \text{TF}^{-1} \left\{ \text{TF} \left[I_{\text{moyenne}}(x, n) \right] \times W_{\sigma}(f) \right\}$$

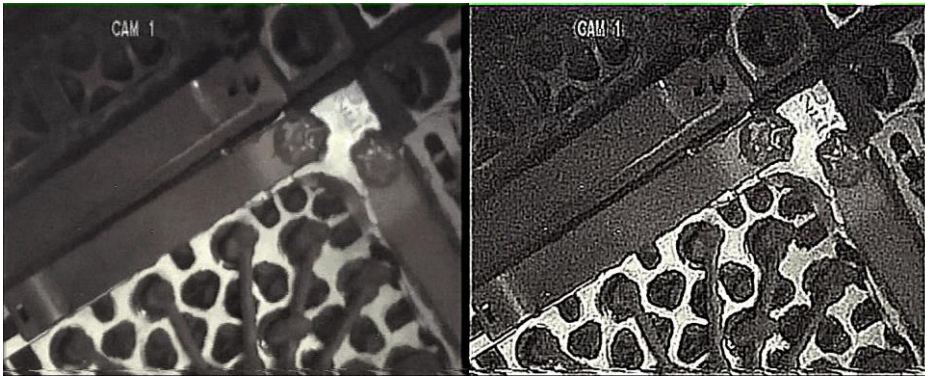
- ◆ Opérations linéaires (filtres et transformées de Fourier) → traitement temps-réel

16/48



Implémentation temps-réel

◆ Caméra fixe, turbulences faibles

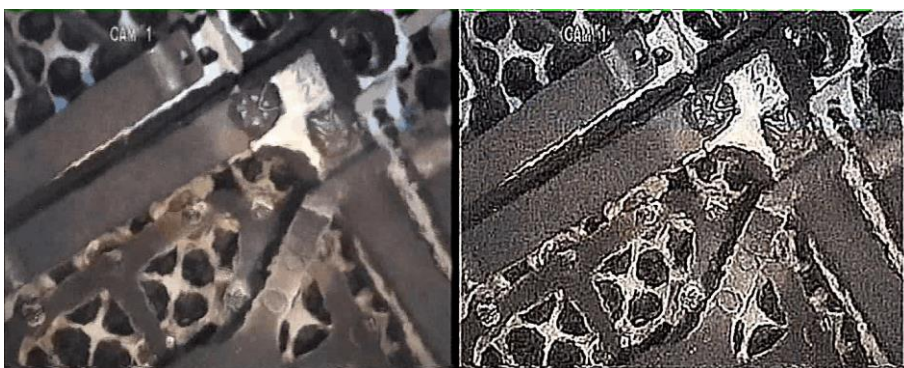


17/48



Implémentation temps-réel

◆ Caméra fixe, turbulences moyennes

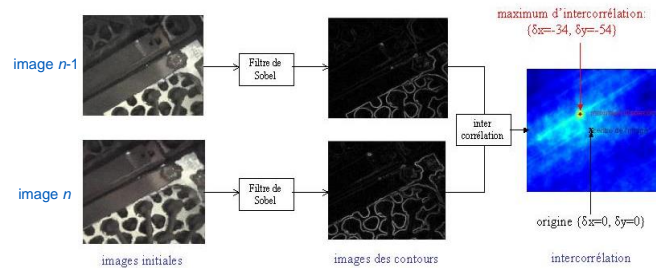


18/48

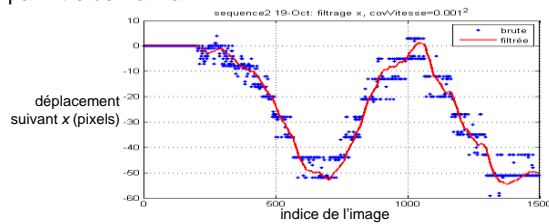


Estimation du mouvement

Estimation du mouvement



Lissage par filtre de Kalman



19/48



Implémentation temps-réel

Caméra en translation

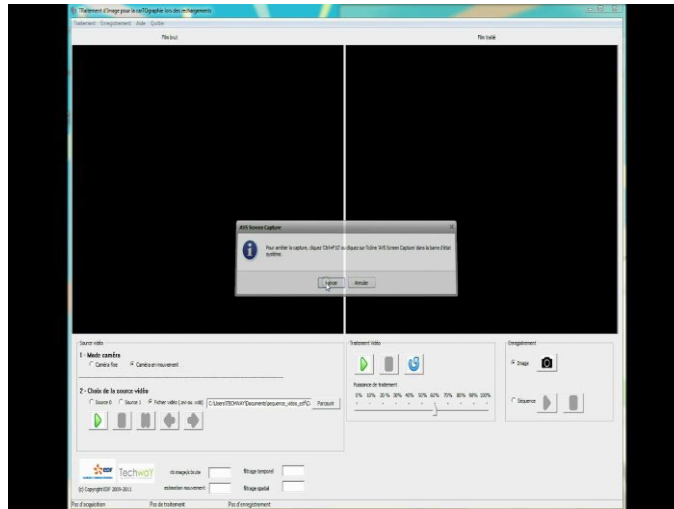


20/48



Implémentation temps-réel

- Caméra fixe, zoom, turbulences fortes



21/48

