

# Un cas de problème inverse : l'identification du modèle dynamique du compacteur

Pierre-Olivier Vandanjon

Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de  
l'Aménagement et des Réseaux

27 février 2015

Avant-propos

Plan

Modèle dynamique

Différents Modèles

Identification

Problèmes

Méthodologie

Planifications

Prétraitement

Identification

Conclusion

- ▶ Processus de répandage et compactage
- ▶ Contrôle en temps réel du compactage
- ▶ Modèle dynamique  $F = M\gamma + \Theta$ , mesurer  $F$  et  $\gamma$ , identifier  $M$ , c'est connaître  $\Theta$ 
  - ▶ Notre dragon : le compacteur
  - ▶ Les empreintes : les mesures de  $F$  et  $\gamma$
- ▶ Une méthodologie qui marche pour les systèmes mécaniques articulés

# Présentation d'une méthodologie appliquée sur différents systèmes

Un cas de problème inverse : l'identification du modèle dynamique du compacteur

Pierre-Olivier Vandanjon

Avant-propos

Plan

Modèle dynamique

Différents Modèles

Identification

Problemes

Méthodologie

Planifications

Prétraitement

Identification

Conclusion

- ▶ robotique manufacturière
- ▶ Transfert à grande vitesse
- ▶ télémanipulateur du nucléaire
- ▶ interface haptique
- ▶ véhicule léger
- ▶ pneumatique
- ▶ compacteur

# robot scara

Un cas de problème  
inverse : l'identification  
du modèle dynamique  
du compacteur

Pierre-Olivier Vandanjon

Avant-propos

Plan

Modèle dynamique

Différents Modèles

Identification

Problemes

Méthodologie

Planifications

Prétraitement

Identification

Conclusion

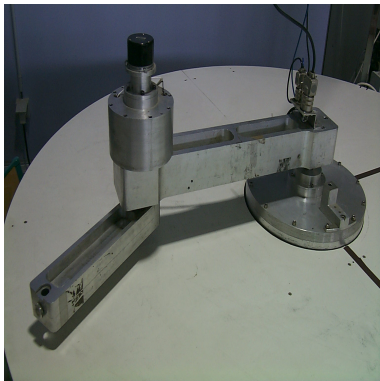


FIGURE : robot scara



FIGURE : Kuka IR 364

## Avant-propos

### Plan

### Modèle dynamique

Différents Modèles

Identification

Problemes

### Méthodologie

Planifications

Prétraitement

Identification

### Conclusion

## Avant-propos

### Plan

### Modèle dynamique

- Différents Modèles
- Identification
- Problemes

### Méthodologie

- Planifications
- Prétraitement
- Identification

### Conclusion



FIGURE : Transfert à Grande Vitesse (SEPRO Robotique)



**FIGURE :** maître (Haption), esclave (RD500) dans le nucléaire

## Avant-propos

## Plan

## Modèle dynamique

Différents Modèles

Identification

Problemes

## Méthodologie

Planifications

Prétraitement

Identification

## Conclusion

# Interface Haptique

Un cas de problème inverse : l'identification du modèle dynamique du compacteur

Pierre-Olivier Vandanjon

Avant-propos

Plan

Modèle dynamique

Différents Modèles

Identification

Problemes

Méthodologie

Planifications

Prétraitement

Identification

Conclusion



FIGURE : Interface Haptique complète





**FIGURE :** Peugeot 406 et pneumatique sollicités latéralement

## Avant-propos

## Plan

## Modèle dynamique

Différents Modèles

Identification

Problemes

## Méthodologie

Planifications

Prétraitement

Identification

## Conclusion

# Construction du modèle dynamique

## Méthodologie

## Conclusion

- Où suis-je ? Géométrie

- ▶ Où suis-je ? Géométrie
- ▶ Où vais-je ? Cinématique

- ▶ Où suis-je ? Géométrie
- ▶ Où vais-je ? Cinématique
- ▶ Que fais-je ? Dynamique

- ▶ Où suis-je ? Géométrie
- ▶ Où vais-je ? Cinématique
- ▶ Que fais-je ? Dynamique
- ▶ Comment obtenir ces modèles ? exemple du compacteur

# le compacteur



FIGURE : compacteur

Un cas de problème inverse : l'identification du modèle dynamique du compacteur

Pierre-Olivier Vandanjon

Avant-propos

Plan

Modèle dynamique

Différents Modèles

Identification

Problemes

Méthodologie

Planifications

Prétraitement

Identification

Conclusion

## Modélisation des systèmes mécaniques articulés

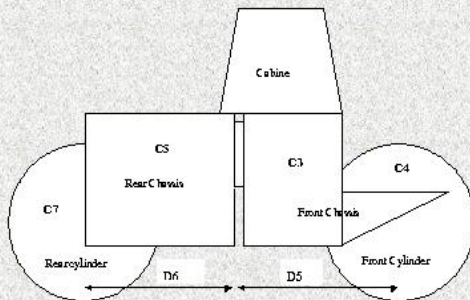


FIGURE : Modélisation géométrique du compacteur



# Comment identifier

Un cas de problème inverse : l'identification du modèle dynamique du compacteur

Pierre-Olivier Vandanjon

Logiciel de calcul formel :

$$\Gamma = I\ddot{q} + H(q, \dot{q})$$

$$\Gamma = D(q, \dot{q}, \ddot{q}) \cdot X$$

$X$  est le vecteur des paramètres dynamique du compacteurs : 10 paramètres par corps : Masse, 1er moment, Inertie

4 corps, 2 couples articulaires

$$Y = W(q, \dot{q}, \ddot{q}) \cdot X + b$$

$$W = \begin{pmatrix} D(q(t_0), \dot{q}(t_0), \ddot{q}(t_0)) \\ \vdots \\ D(q(t_n), \dot{q}(t_n), \ddot{q}(t_n)) \end{pmatrix}$$

10 secondes  $\implies$  20 000 lignes, Beaucoup d'empreintes de dragon, comment ajuster une empreinte type à toutes les empreintes mesurées ?

Avant-propos

Plan

Modèle dynamique

Différents Modèles

Identification

Problemes

Méthodologie

Planifications

Prétraitement

Identification

Conclusion

# Identification par moindres carrés

Un cas de problème inverse : l'identification du modèle dynamique du compacteur

Pierre-Olivier Vandanjon

$m$  équations  $>$   $n$  paramètres  $\rightarrow$  Moindres Carrés

$$X_{mc} \in \min_X \|W \cdot X - Y\|^2$$

Solution facile à calculer :

$$X_{mc} = (W^t \cdot W)^{-1} \cdot W^t \cdot Y$$

avec une interprétation probabiliste :

$$Y = W(q, \dot{q}, \ddot{q}) \cdot X + b$$

$b \rightsquigarrow \mathcal{N}(O, \sigma^2)$  Indice de confiance sur l'essai : la variance

$$\widehat{\sigma^2} = \|W \cdot X_{mc} - Y\|^2 / (m - n)$$

Indice de confiance sur les paramètres : l'ellipse de confiance

$$\frac{(X_{mc} - X)^t \cdot (W^t \cdot W) \cdot (X_{mc} - X)}{\widehat{\sigma^2}} \leq M$$

Avant-propos

Plan

Modèle dynamique

Différents Modèles

Identification

Problèmes

Méthodologie

Planifications

Prétraitement

Identification

Conclusion

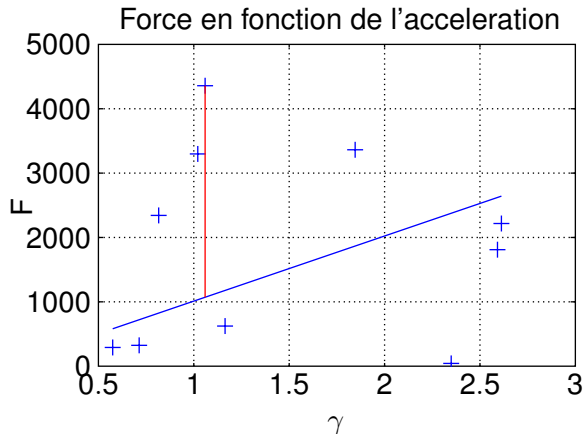


FIGURE : Ca ne marche pas : masse de 100 kg !!!



FIGURE : Dragon en colère

- ▶ Erreur de Narration
- ▶ Erreur Ludique
- ▶ Erreur de Confirmation

# Erreur de Narration

- ▶ nous nous leurrions avec nos histoires.
- ▶ notre modèle est faux

Un cas de problème inverse : l'identification du modèle dynamique du compacteur

Pierre-Olivier Vandanjon

Avant-propos

Plan

Modèle dynamique

Différents Modèles

Identification

**Problemes**

Méthodologie

Planifications

Prétraitement

Identification

Conclusion

# Erreur de Narration

- ▶ nous nous leurrions avec nos histoires.
- ▶ notre modèle est faux Et les frottements ?

Un cas de problème inverse : l'identification du modèle dynamique du compacteur

Pierre-Olivier Vandanjon

Avant-propos

Plan

Modèle dynamique

Différents Modèles

Identification

**Problemes**

Méthodologie

Planifications

Prétraitement

Identification

Conclusion

# Erreur de Narration

- ▶ nous nous leurrions avec nos histoires.
- ▶ notre modèle est faux Et les frottements ?
- ▶ Modèle sous déterminé / le problème est mal posé : les paramètres dépendent les uns des autres/Identifiabilité des paramètres (Simulation)

Un cas de problème inverse : l'identification du modèle dynamique du compacteur

Pierre-Olivier Vandanjon

Avant-propos

Plan

Modèle dynamique

Différents Modèles

Identification

Problemes

Méthodologie

Planifications

Prétraitement

Identification

Conclusion

# Erreur de Narration

- ▶ nous nous leurrions avec nos histoires.
- ▶ notre modèle est faux Et les frottements ?
- ▶ Modèle sous déterminé / le problème est mal posé : les paramètres dépendent les uns des autres/Identifiabilité des paramètres (Simulation)
- ▶ et la stabilité numérique ?

Un cas de problème inverse : l'identification du modèle dynamique du compacteur

Pierre-Olivier Vandanjon

Avant-propos

Plan

Modèle dynamique

Différents Modèles

Identification

Problemes

Méthodologie

Planifications

Prétraitement

Identification

Conclusion



# Erreur de Narration

- ▶ nous nous leurrions avec nos histoires.
- ▶ notre modèle est faux Et les frottements ?
- ▶ Modèle sous déterminé / le problème est mal posé : les paramètres dépendent les uns des autres/Identifiabilité des paramètres (Simulation)
- ▶ et la stabilité numérique ? Exemple : calculer

$$\int_0^1 \frac{x^n}{x+10} dx$$

$$U_n = \int_0^1 \frac{x^{n-1}(x+10) - 10x^{n-1}}{x+10} dx$$

$$U_n = \frac{1}{n} - 10U_{n-1} \quad (U_0 = \ln(1.1))$$

Un cas de problème inverse : l'identification du modèle dynamique du compacteur

Pierre-Olivier Vandanjon

Avant-propos

Plan

Modèle dynamique

Différents Modèles

Identification

Problemes

Méthodologie

Planifications

Prétraitement

Identification

Conclusion

# Erreur de Narration

- ▶ nous nous leurrions avec nos histoires.
- ▶ notre modèle est faux Et les frottements ?
- ▶ Modèle sous déterminé / le problème est mal posé : les paramètres dépendent les uns des autres/Identifiabilité des paramètres (Simulation)
- ▶ et la stabilité numérique ? Exemple : calculer

$$\int_0^1 \frac{x^n}{x+10} dx$$

$$U_n = \int_0^1 \frac{x^{n-1}(x+10) - 10x^{n-1}}{x+10} dx$$

$$U_n = \frac{1}{n} - 10U_{n-1} \quad (U_0 = \ln(1.1))$$

- ▶ c'est un problème mal posé (Comment le poser correctement ?)

Un cas de problème inverse : l'identification du modèle dynamique du compacteur

Pierre-Olivier Vandanjon

Avant-propos

Plan

Modèle dynamique

Différents Modèles

Identification

Problemes

Méthodologie

Planifications

Prétraitement

Identification

Conclusion

# Erreur de Narration

Un cas de problème inverse : l'identification du modèle dynamique du compacteur

Pierre-Olivier Vandanjon

Avant-propos

Plan

Modèle dynamique

Différents Modèles

Identification

Problèmes

Méthodologie

Planifications

Prétraitement

Identification

Conclusion

- ▶ nous nous leurrions avec nos histoires.
- ▶ notre modèle est faux Et les frottements ?
- ▶ Modèle sous déterminé / le problème est mal posé : les paramètres dépendent les uns des autres/Identifiabilité des paramètres (Simulation)
- ▶ et la stabilité numérique ? Exemple : calculer

$$\int_0^1 \frac{x^n}{x+10} dx$$

$$U_n = \int_0^1 \frac{x^{n-1}(x+10) - 10x^{n-1}}{x+10} dx$$

$$U_n = \frac{1}{n} - 10U_{n-1} \quad (U_0 = \ln(1.1))$$

- ▶ c'est un problème mal posé (Comment le poser correctement ?)

$$U_{n-1} = \frac{1}{10} \left( \frac{1}{n} - U_n \right) \quad (U_{100} = 1)$$

# Erreur de Narration

Un cas de problème inverse : l'identification du modèle dynamique du compacteur

Pierre-Olivier Vandanjon

Avant-propos

Plan

Modèle dynamique

Différents Modèles

Identification

Problèmes

Méthodologie

Planifications

Prétraitement

Identification

Conclusion

- ▶ nous nous leurrions avec nos histoires.
- ▶ notre modèle est faux Et les frottements ?
- ▶ Modèle sous déterminé / le problème est mal posé : les paramètres dépendent les uns des autres/Identifiabilité des paramètres (Simulation)
- ▶ et la stabilité numérique ? Exemple : calculer

$$\int_0^1 \frac{x^n}{x+10} dx$$

$$U_n = \int_0^1 \frac{x^{n-1}(x+10) - 10x^{n-1}}{x+10} dx$$

$$U_n = \frac{1}{n} - 10U_{n-1} \quad (U_0 = \ln(1.1))$$

- ▶ c'est un problème mal posé (Comment le poser correctement ?)

$$U_{n-1} = \frac{1}{10} \left( \frac{1}{n} - U_n \right) \quad (U_{100} = 1)$$

Exemple de Lorenz

- ▶ Théorème de la limite central : Soit  $X_i$  une suite de variables aléatoires définies sur le même espace de probabilité, suivant la même loi  $D$  et indépendantes. Supposons que l'espérance  $\mu$  et l'écart-type  $\sigma$  de  $D$  existent et soient finis.

$Z_n = \sum_{i=1}^n X_i$  converge en loi vers la loi normale  $\mathcal{N}(n\mu, n\sigma^2)$

- ▶ somme des lois de Bernouilli
  - ▶ Température
- ▶ Théorème de Cox-Jaynes : extension de la logique,  $A \implies B$ ,  $B$ ,  $P(A/B)$  augmente, le principe du maximum d'entropie donne la loi normale comme distribution a priori pour les erreurs.

# ► le hasard n'est pas le hasard mathématique

Un cas de problème  
inverse : l'identification  
du modèle dynamique  
du compacteur

Pierre-Olivier Vandanjon

Avant-propos

Plan

Modèle dynamique

Différents Modèles

Identification

**Problemes**

Méthodologie

Planifications

Prétraitement

Identification

Conclusion

- ▶ le hasard n'est pas le hasard mathématique
- ▶ notre modèle du hasard : une approche nécessaire mais pas suffisante.

Un cas de problème  
inverse : l'identification  
du modèle dynamique  
du compacteur

Pierre-Olivier Vandanjon

Avant-propos

Plan

Modèle dynamique

Différents Modèles

Identification

**Problemes**

Méthodologie

Planifications

Prétraitement

Identification

Conclusion

- ▶ le hasard n'est pas le hasard mathématique
- ▶ notre modèle du hasard : une approche nécessaire mais pas suffisante.
- ▶ notre hasard n'est pas additif
- ▶ Empereur de Chine (biais systématique)

Un cas de problème inverse : l'identification du modèle dynamique du compacteur

Pierre-Olivier Vandanjon

Avant-propos

Plan

Modèle dynamique

Différents Modèles

Identification

Problemes

Méthodologie

Planifications

Prétraitement

Identification

Conclusion



- ▶ le hasard n'est pas le hasard mathématique
- ▶ notre modèle du hasard : une approche nécessaire mais pas suffisante.
- ▶ notre hasard n'est pas additif
- ▶ Empereur de Chine (biais systématique)
- ▶ la crise financière des subprimes : l'erreur ludique appliquée au risque d'insolvabilité (l'indépendance)

Un cas de problème inverse : l'identification du modèle dynamique du compacteur

Pierre-Olivier Vandanjon

Avant-propos

Plan

Modèle dynamique

Différents Modèles

Identification

Problemes

Méthodologie

Planifications

Prétraitement

Identification

Conclusion

- ▶ le hasard n'est pas le hasard mathématique
- ▶ notre modèle du hasard : une approche nécessaire mais pas suffisante.
- ▶ notre hasard n'est pas additif
- ▶ Empereur de Chine (biais systématique)
- ▶ la crise financière des subprimes : l'erreur ludique appliquée au risque d'insolvabilité (l'indépendance)
- ▶ la loi normale exclut les valeurs extrêmes, le gagnant rafle tout : loi de puissance, le cygne noir

Un cas de problème inverse : l'identification du modèle dynamique du compacteur

Pierre-Olivier Vandanjon

Avant-propos

Plan

Modèle dynamique

Différents Modèles

Identification

Problèmes

Méthodologie

Planifications

Prétraitement

Identification

Conclusion

- ▶ le hasard n'est pas le hasard mathématique
- ▶ notre modèle du hasard : une approche nécessaire mais pas suffisante.
- ▶ notre hasard n'est pas additif
- ▶ Empereur de Chine (biais systématique)
- ▶ la crise financière des subprimes : l'erreur ludique appliquée au risque d'insolvabilité (l'indépendance)
- ▶ la loi normale exclut les valeurs extrêmes, le gagnant rafle tout : loi de puissance, le cygne noir
- ▶ Pas de robustesse de l'estimateur => Enlever les erreurs aberrantes (attention danger !!!!)  
(Exemple de MM Penzias et Wilson)

Un cas de problème inverse : l'identification du modèle dynamique du compacteur

Pierre-Olivier Vandanjon

Avant-propos

Plan

Modèle dynamique

Différents Modèles

Identification

Problèmes

Méthodologie

Planifications

Prétraitement

Identification

Conclusion

- ▶ le hasard n'est pas le hasard mathématique
- ▶ notre modèle du hasard : une approche nécessaire mais pas suffisante.
- ▶ notre hasard n'est pas additif
- ▶ Empereur de Chine (biais systématique)
- ▶ la crise financière des subprimes : l'erreur ludique appliquée au risque d'insolvabilité (l'indépendance)
- ▶ la loi normale exclut les valeurs extrêmes, le gagnant rafle tout : loi de puissance, le cygne noir
- ▶ Pas de robustesse de l'estimateur => Enlever les erreurs aberrantes (attention danger !!!)  
(Exemple de MM Penzias et Wilson)
- ▶ Erreur <> Innovation : la solution = faire de la science

- ▶ le hasard n'est pas le hasard mathématique
- ▶ notre modèle du hasard : une approche nécessaire mais pas suffisante.
- ▶ notre hasard n'est pas additif
- ▶ Empereur de Chine (biais systématique)
- ▶ la crise financière des subprimes : l'erreur ludique appliquée au risque d'insolvabilité (l'indépendance)
- ▶ la loi normale exclut les valeurs extrêmes, le gagnant rafle tout : loi de puissance, le cygne noir
- ▶ Pas de robustesse de l'estimateur => Enlever les erreurs aberrantes (attention danger!!!!)  
(Exemple de MM Penzias et Wilson)
- ▶ Erreur <> Innovation : la solution = faire de la science
- ▶ Asymétrie fondamentale entre Y sur lequel se concentre le bruit et la matrice d'observation, supposée déterministe (Incertitude de mesure sur l'accélération)

- ▶ le hasard n'est pas le hasard mathématique
- ▶ notre modèle du hasard : une approche nécessaire mais pas suffisante.
- ▶ notre hasard n'est pas additif
- ▶ Empereur de Chine (biais systématique)
- ▶ la crise financière des subprimes : l'erreur ludique appliquée au risque d'insolvabilité (l'indépendance)
- ▶ la loi normale exclut les valeurs extrêmes, le gagnant rafle tout : loi de puissance, le cygne noir
- ▶ Pas de robustesse de l'estimateur => Enlever les erreurs aberrantes (attention danger !!!!)  
(Exemple de MM Penzias et Wilson)
- ▶ Erreur <> Innovation : la solution = faire de la science
- ▶ Asymétrie fondamentale entre Y sur lequel se concentre le bruit et la matrice d'observation, supposée déterministe (Incertitude de mesure sur l'accélération)
- ▶ Un biais systématique n'est pas détecté par les

- ▶ nous regardons ce qui confirme notre savoir mais pas notre ignorance

- ▶ nous regardons ce qui confirme notre savoir mais pas notre ignorance
- ▶ Extrapolation du modèle en dehors de son domaine de validité : le compacteur vibre
- ▶ Prendre en compte toute la gamme des accélérations



# Erreur de confirmation

Un cas de problème inverse : l'identification du modèle dynamique du compacteur

Pierre-Olivier Vandanjon

Force en fonction de l'accélération : erreur de confirmation

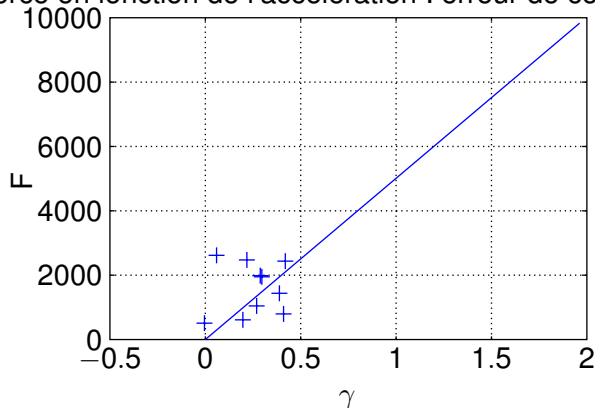


FIGURE : Comment prédire !!!

Avant-propos

Plan

Modèle dynamique

Différents Modèles

Identification

Problèmes

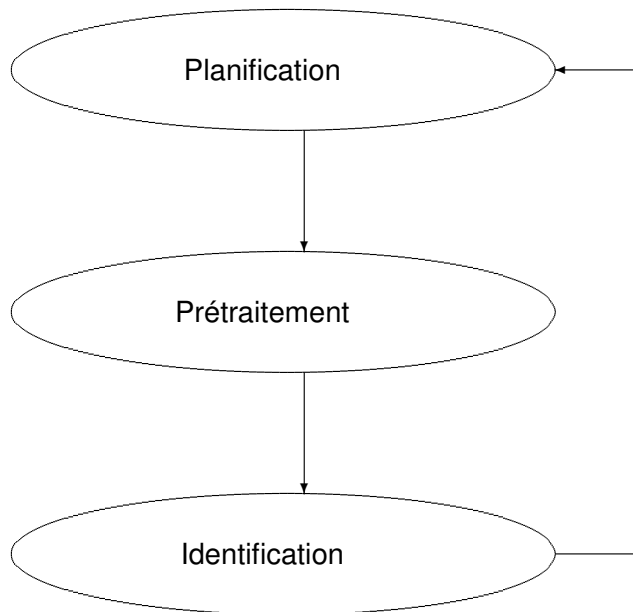
Méthodologie

Planifications

Prétraitement

Identification

Conclusion



Avant-propos

Plan

Modèle dynamique

Différents Modèles

Identification

Problèmes

**Méthodologie**

Planifications

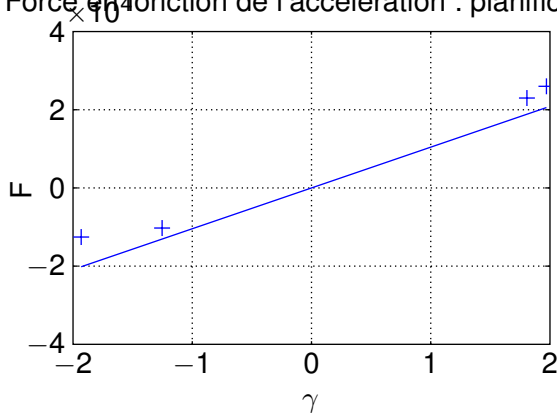
Prétraitement

Identification

Conclusion

- ▶ Planifier des expérimentations interprétables physiquement (comme les frottements)
- ▶ Simulation : détermination de paramètres a priori, vérifier l'identifiabilité
- ▶ Optimisation de la planification par rapport au critère  $\text{cond}(W \cdot \text{diag}(X_{\text{a priori}}))$  / faire marcher le dragon sur un sol meuble
- ▶ Planifier des expérimentations avec des accélérations importantes

Force en fonction de l'accélération : planification



**FIGURE :** Planifier des expériences avec des accélérations importantes et simuler

Avant-propos

Plan

Modèle dynamique

Différents Modèles

Identification

Problèmes

Méthodologie

Planifications

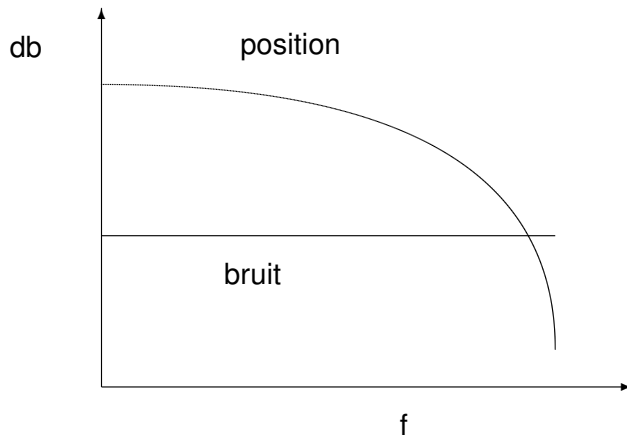
Prétraitement

Identification

Conclusion

# Calcul d'une accélération

Erreur stochastique multipliée par  $10^6$  sur  $W$   
supposée connue sans erreur !!!



Un cas de problème  
inverse : l'identification  
du modèle dynamique  
du compacteur

Pierre-Olivier Vandanjon

Avant-propos

Plan

Modèle dynamique

Différents Modèles

Identification

Problemes

Méthodologie

Planifications

**Prétraitement**

Identification

Conclusion

Un modèle n'est jamais universel

Le modèle est valide à basse fréquence  $\implies$  filtrage parallèle pour concentrer l'identification dans la bande fréquentielle valide / Nettoyage des empreintes

$$Y^F = W^F \cdot X$$

Attention à la surinformation : une ligne peut être obtenue par combinaisons linéaires des autres = décimation

c'est le paradoxe de l'empereur de Chine

# Trop d'informations

Un cas de problème inverse : l'identification du modèle dynamique du compacteur

Pierre-Olivier Vandanjon

Avant-propos

Plan

Modèle dynamique

Différents Modèles

Identification

Problèmes

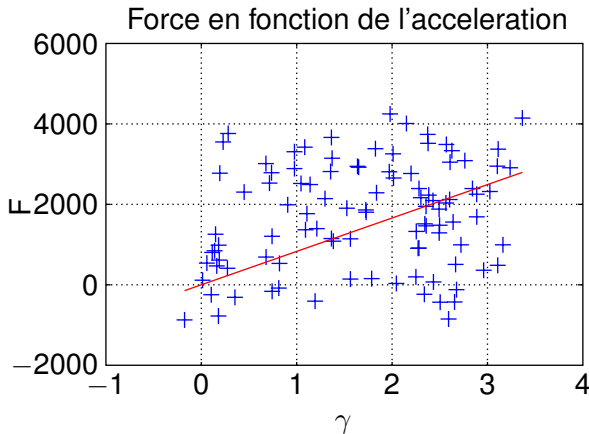
Méthodologie

Planifications

**Prétraitement**

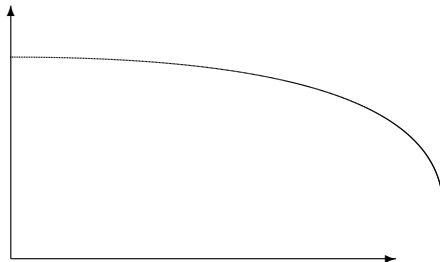
Identification

Conclusion



**FIGURE :** erreur aléatoire <> biais systématique <> écart type sousévalué

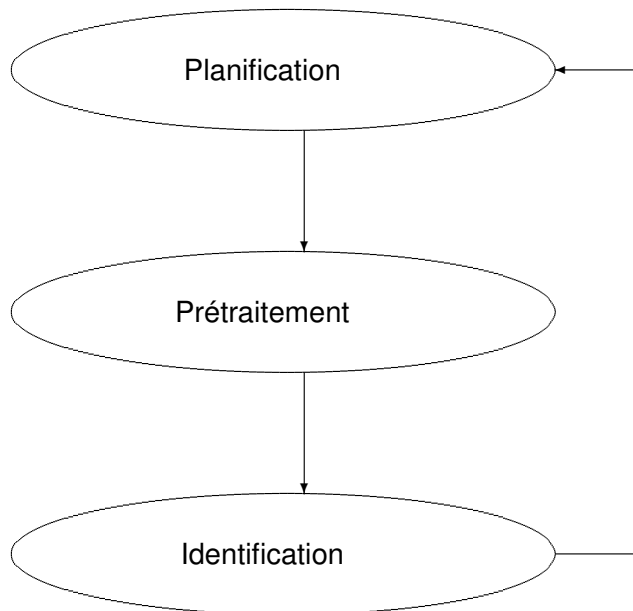
Signal sur bruit en db



fréquence de coupure

**FIGURE :** Fréquence de coupure sur le modèle





Avant-propos

Plan

Modèle dynamique

Différents Modèles

Identification

Problèmes

Méthodologie

Planifications

**Prétraitement**

Identification

Conclusion

- ▶ Assemblage de matrices : normalisation par la variance estimée de chacune des matrices d'observation obtenue/ Mettre toutes les empreintes ensembles et accorder plus de poids à celles qui sont les plus propres.
- ▶ QR du système final étendu  $[W \ Y]^{final} = Q \cdot R$
- ▶ Identification des paramètres et qualité de l'identification
- ▶ Replanification

Utiliser des algorithmes stables numériquement :

$$[W \ Y]^{final} = Q \cdot R$$

avec

$$R = \begin{pmatrix} R_{1...n_r}^- & R_{n_r+1}^- \\ zero & R_{n_r+1, n_r+1} \end{pmatrix}$$

$$X_{mc} = (R_{1...n_r}^-)^{-1} \cdot R_{n_r+1}^-$$

$$\widehat{\sigma^2} = \frac{R_{n_r+1, n_r+1}^2}{m_{total} - n_r}$$

Avant-propos

Plan

Modèle dynamique

Différents Modèles

Identification

Problèmes

Méthodologie

Planifications

Prétraitement

Identification

Conclusion

1.  $Qualite = \text{cond}(R_{1\dots n_r}^- \cdot \text{diag}(X_{mc}))$
2.  $\sigma_{X_{mck}} / X_{mck}$  : variance calculée
  - ▶ par les moindres carrées  $((R_{1\dots n_r}^-)^t \cdot R_{1\dots n_r}^-)^{-1} \times \widehat{\sigma^2}$
  - ▶ par simulation (méthode CESTAC)  
$$\sigma_{X_{mck}}^2 = \frac{1}{3} \sum_{l=1}^3 (X_{mck}^{\text{bruit}l} - X_{mck})^2$$
  - ▶ Visualiser les résidus
3. visualisation des résidus (droite de Henry)
4. tests statistiques : il est de White (hétéroscédasticité, autocorrélation des résidus), utilisation des variables instrumentales,
5. tester les capacités prédictives du modèle sur une trajectoire non utilisée lors de l'identification
6. re-identifier des paramètres connus (croiser les sources)

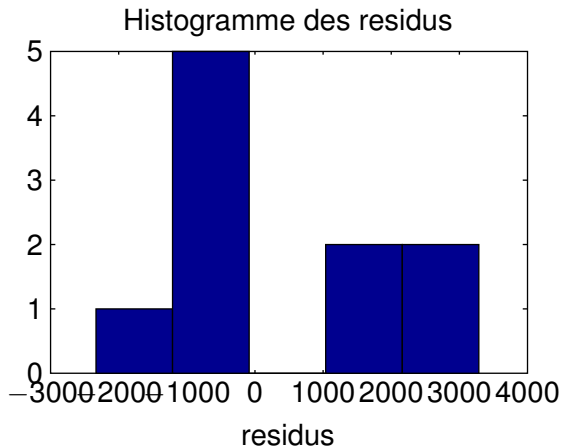


FIGURE : detection via les résidus

Avant-propos

Plan

Modèle dynamique

Différents Modèles

Identification

Problemes

Méthodologie

Planifications

Prétraitement

Identification

Conclusion

- ▶ si le conditionnement est mauvais. Décomposition en valeurs singulières de  $W = U \cdot S \cdot V^t$  il faut regarder quel mouvement contribue le plus à la plus petite valeur singulière : c'est à dire analyser les indices de  $U_n$  provenant de la décomposition en valeurs singulières du système concaténé.
- ▶ si un paramètre est mal identifié, ceci provient de son écart-type. Pour chaque mouvement, nous supposons qu'il est réalisée une deuxième fois et nous calculons l'influence de ce deuxième essai virtuel sur la qualité de l'estimation (principe des détections des données influentes en statistique) : ceci fournit les trajectoires sensibilisantes pour ce paramètre.
- ▶ Valeurs aberrantes : à Analyser

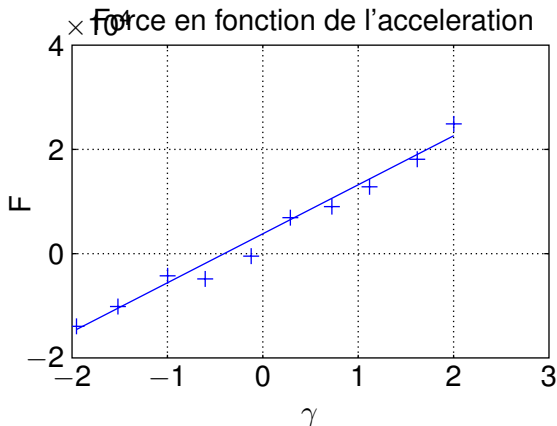


FIGURE : Masse de 10t validée

Avant-propos

Plan

Modèle dynamique

Différents Modèles

Identification

Problèmes

Méthodologie

Planifications

Prétraitement

Identification

Conclusion



FIGURE : Dragon heureux





FIGURE : Dragon heureux

- Erreur de Narration évitée en spécifiant les bornes fréquentielles dans lesquelles le modèle est valide.



FIGURE : Dragon heureux

- ▶ Erreur de Narration évitée en spécifiant les bornes fréquentielles dans lesquelles le modèle est valide.
- ▶ Erreur ludique évitée en se plaçant dans un cadre où le modèle gaussien a un sens.



FIGURE : Dragon heureux

- ▶ Erreur de Narration évitée en spécifiant les bornes fréquentielles dans lesquelles le modèle est valide.
- ▶ Erreur ludique évitée en se plaçant dans un cadre où le modèle gaussien a un sens.
- ▶ Erreur de Confirmation évitée par la planification d'expérience.



FIGURE : Dragon heureux



FIGURE : Dragon heureux

- Planification : connaissance a priori du système, assurer l'identifiabilité des paramètres



FIGURE : Dragon heureux

- ▶ Planification : connaissance a priori du système, assurer l'identifiabilité des paramètres
- ▶ Concentrer l'identification là où le modèle est pertinent



FIGURE : Dragon heureux

- ▶ Planification : connaissance a priori du système, assurer l'identifiabilité des paramètres
- ▶ Concentrer l'identification là où le modèle est pertinent
- ▶ Incertitude aussi important que la valeur des paramètres



FIGURE : Dragon heureux

- ▶ Planification : connaissance a priori du système, assurer l'identifiabilité des paramètres
- ▶ Concentrer l'identification là où le modèle est pertinent
- ▶ Incertitude aussi important que la valeur des paramètres
- ▶ Visualiser les résidus



# Discussion : les moindres carrés, c'est quoi ?

Un cas de problème inverse : l'identification du modèle dynamique du compacteur

Pierre-Olivier Vandanjon

$$Y = W(q, \dot{q}, \ddot{q}) \cdot X + b$$

si  $b \rightsquigarrow \mathcal{N}(0, \sigma^2)$  la “meilleure” méthode = moindres carrés deux interprétations

- ▶ classique/statistique : notion de variable aléatoire, estimateur, justifié par le théorème centrale limite,
- ▶ bayésienne/logique :  $A \implies B$ , si je connais  $B$ , que dire de  $A$

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) \times P(A)}{P(B)}$$

, ici  $P(X|Y, W)$  ? justifié par un principe d'entropie de l'information.

- ▶ Attention au paradoxe de l'empereur de chine (le modèle n'est pas la réalité)
- ▶ estimateur non robuste. . .

Avant-propos

Plan

Modèle dynamique

Différents Modèles

Identification

Problèmes

Méthodologie

Planifications

Prétraitement

Identification

Conclusion

# Discussion : les alternatives

Un cas de problème inverse : l'identification du modèle dynamique du compacteur

Pierre-Olivier Vandanjon

- ▶ estimateur naturel

$$X_{laplace} \in \min_X \|W \cdot X - Y\|$$

⇒ bruit laplacien

- ▶ estimateur robuste

$$X_{robuste} \in \min_X \text{mediane} \|W \cdot X - Y\|$$

⇒ 49 % des mesures sont fausses

- ▶ estimation par intervalle : arithmétique des intervalles. Ceci garantit l'intervalle de l'estimation.
- ▶ méthode " erreur dans les variables " = variable instrumentale

Avant-propos

Plan

Modèle dynamique

Différents Modèles

Identification

Problèmes

Méthodologie

Planifications

Prétraitement

Identification

Conclusion

# Un cas de problème inverse : l'identification du modèle dynamique du compacteur

Pierre-Olivier Vandanjon

Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de  
l'Aménagement et des Réseaux

27 février 2015

Avant-propos

Plan

Modèle dynamique

Différents Modèles

Identification

Problèmes

Méthodologie

Planifications

Prétraitement

Identification

Conclusion