

Diagnostic et Surveillance de Systèmes. Méthodes et Applications

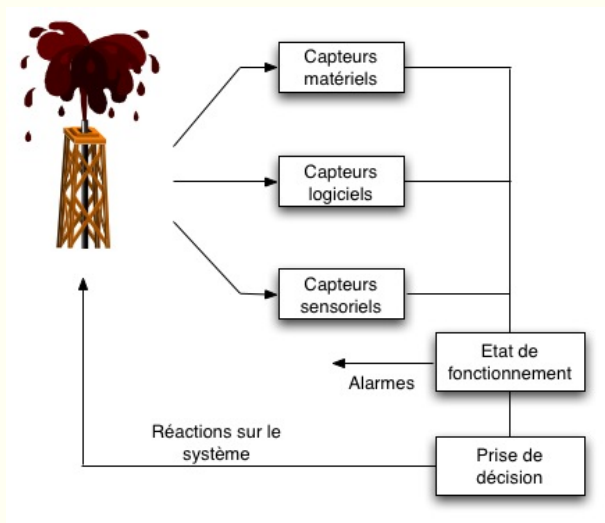
José RAGOT

[http ://www.ensem.inpl-nancy.fr/Jose.Ragot/](http://www.ensem.inpl-nancy.fr/Jose.Ragot/)
Centre de Recherche en Automatique de Nancy (CRAN)
Institut National Polytechnique de Lorraine (INPL)



2ème Colloque de Recherche Appliquée et de Transfert de Technologie
ISET Radès, 14-15 novembre, 2007

1. Généralités : les étapes du diagnostic



1. Généralités : les étapes du diagnostic

• Surveillance

- centralisation et visualisation d'informations
- détection et localisation des fautes, estimation de leurs amplitudes
- recherche des causes
- décision d'une action compensatrice.

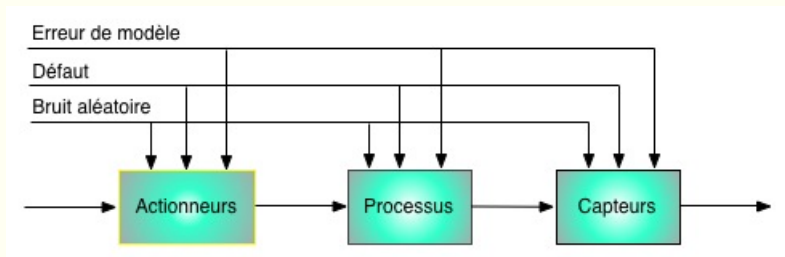


FIG.: Processus physique et sources de perturbation

1. Généralités : les étapes du diagnostic

- Surveillance

- centralisation et visualisation d'informations
- détection et localisation des fautes, estimation de leurs amplitudes
- recherche des causes
- décision d'une action compensatrice.

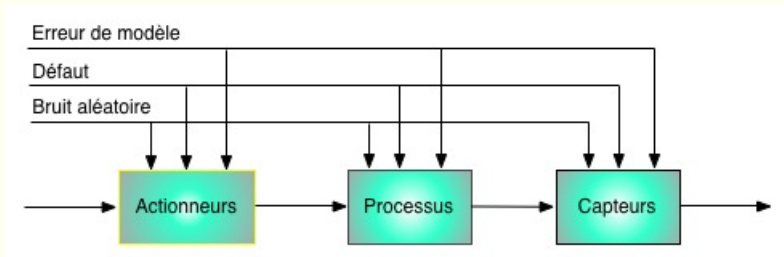


FIG.: Processus physique et sources de perturbation

1. Généralités : les étapes du diagnostic

- Surveillance

- centralisation et visualisation d'informations
- détection et localisation des fautes, estimation de leurs amplitudes
- recherche des causes
- décision d'une action compensatrice.

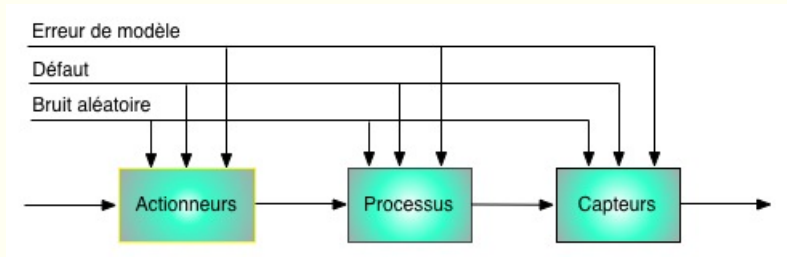


FIG.: Processus physique et sources de perturbation

1. Généralités : les étapes du diagnostic

- Surveillance

- centralisation et visualisation d'informations
- détection et localisation des fautes, estimation de leurs amplitudes
- recherche des causes
- décision d'une action compensatrice.

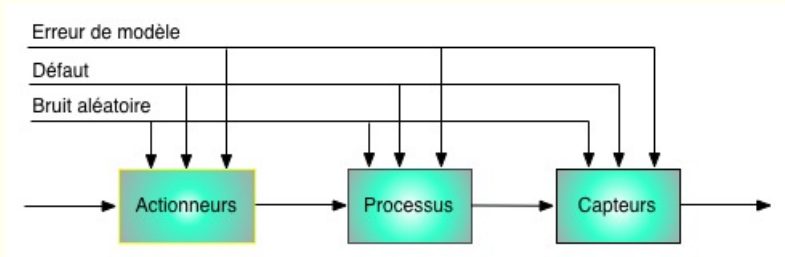


FIG.: Processus physique et sources de perturbation

1. Généralités : les étapes du diagnostic

- Surveillance

- centralisation et visualisation d'informations
- détection et localisation des fautes, estimation de leurs amplitudes
- recherche des causes
- décision d'une action compensatrice.

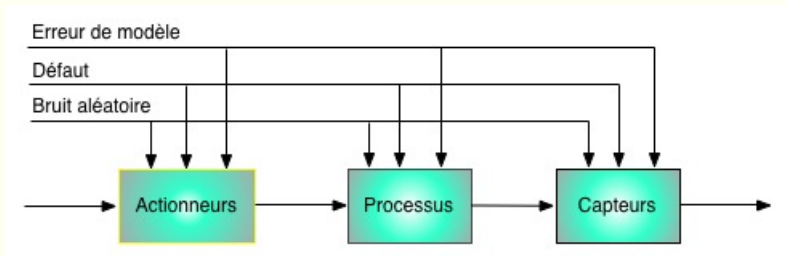


FIG.: Processus physique et sources de perturbation

1. Généralités : Diagnostic et Surveillance de Systèmes.

Exemple : surveillance de la pollution de l'air



- Buts du traitement
 - certifier les informations collectées
 - alerter si nécessaire
 - prévoir la pollution
 - réduire la pollution
 - réagir sur la circulation
- Aspects critiques
 - quand et qui informer ?
 - qualité des mesures ?
 - danger d'une information fausse ?

1. Généralités : quelques idées sur le diagnostic

Les mesures effectuées sont-elles **vraisemblables** ?

Le système est-il en **bon** état de fonctionnement ?

Le système présente-t-il des **anomalies** ?

Peut-on **localiser** ces anomalies ?

Peut-on **annuler** ou réduire les effets de ces anomalies ?

Malgré les défauts, le système peut-il remplir sa **mission** ?

Doit-on placer le système en mode **dégradé** ?

Peut-on prévoir l'**évolution** des anomalies ?

Doit-on déclencher une procédure d'**arrêt** du système ?

Doit-on **signaler** les anomalies ?

Est-on sûr d'un diagnostic ?

Compromis précocité/sûreté du diagnostic

Quoi **mesurer** pour poser un diagnostic ?

1. Généralités : quelques idées sur le diagnostic

Les mesures effectuées sont-elles **vraisemblables** ?

Le système est-il en **bon** état de fonctionnement ?

Le système présente-t-il des **anomalies** ?

Peut-on **localiser** ces anomalies ?

Peut-on **annuler** ou réduire les effets de ces anomalies ?

Malgré les défauts, le système peut-il remplir sa **mission** ?

Doit-on placer le système en mode **dégradé** ?

Peut-on prévoir l'évolution des anomalies ?

Doit-on déclencher une procédure d'arrêt du système ?

Doit-on **signaler** les anomalies ?

Est-on sûr d'un diagnostic ?

Compromis précocité/sûreté du diagnostic

Quoi mesurer pour poser un diagnostic ?

1. Généralités : quelques idées sur le diagnostic

Les mesures effectuées sont-elles **vraisemblables** ?

Le système est-il en **bon** état de fonctionnement ?

Le système présente-t-il des **anomalies** ?

Peut-on **localiser** ces anomalies ?

Peut-on **annuler** ou réduire les effets de ces anomalies ?

Malgré les défauts, le système peut-il remplir sa **mission** ?

Doit-on placer le système en mode **dégradé** ?

Peut-on prévoir l'évolution des anomalies ?

Doit-on déclencher une procédure d'arrêt du système ?

Doit-on signaler les anomalies ?

Est-on sûr d'un diagnostic ?

Compromis précocité/sûreté du diagnostic

Quoi mesurer pour poser un diagnostic ?

1. Généralités : quelques idées sur le diagnostic

Les mesures effectuées sont-elles **vraisemblables** ?

Le système est-il en **bon** état de fonctionnement ?

Le système présente-t-il des **anomalies** ?

Peut-on **localiser** ces anomalies ?

Peut-on **annuler** ou réduire les effets de ces anomalies ?

Malgré les défauts, le système peut-il remplir sa **mission** ?

Doit-on placer le système en mode **dégradé** ?

Peut-on prévoir l'évolution des anomalies ?

Doit-on déclencher une procédure d'arrêt du système ?

Doit-on signaler les anomalies ?

Est-on sûr d'un diagnostic ?

Compromis précocité/sûreté du diagnostic

Quoi mesurer pour poser un diagnostic ?

1. Généralités : quelques idées sur le diagnostic

Les mesures effectuées sont-elles **vraisemblables** ?

Le système est-il en **bon** état de fonctionnement ?

Le système présente-t-il des **anomalies** ?

Peut-on **localiser** ces anomalies ?

Peut-on **annuler** ou réduire les effets de ces anomalies ?

Malgré les défauts, le système peut-il remplir sa **mission** ?

Doit-on placer le système en mode **dégradé** ?

Peut-on prévoir l'évolution des anomalies ?

Doit-on déclencher une procédure d'arrêt du système ?

Doit-on signaler les anomalies ?

Est-on sûr d'un diagnostic ?

Compromis précocité/sûreté du diagnostic

Quoi mesurer pour poser un diagnostic ?

1. Généralités : quelques idées sur le diagnostic

Les mesures effectuées sont-elles **vraisemblables** ?

Le système est-il en **bon** état de fonctionnement ?

Le système présente-t-il des **anomalies** ?

Peut-on **localiser** ces anomalies ?

Peut-on **annuler** ou réduire les effets de ces anomalies ?

Malgré les défauts, le système peut-il remplir sa **mission** ?

Doit-on placer le système en mode **dégradé** ?

Peut-on prévoir l'**évolution** des anomalies ?

Doit-on déclencher une procédure d'arrêt du système ?

Doit-on signaler les anomalies ?

Est-on sûr d'un diagnostic ?

Compromis précocité/sûreté du diagnostic

Quoi mesurer pour poser un diagnostic ?

1. Généralités : quelques idées sur le diagnostic

Les mesures effectuées sont-elles **vraisemblables** ?

Le système est-il en **bon** état de fonctionnement ?

Le système présente-t-il des **anomalies** ?

Peut-on **localiser** ces anomalies ?

Peut-on **annuler** ou réduire les effets de ces anomalies ?

Malgré les défauts, le système peut-il remplir sa **mission** ?

Doit-on placer le système en mode **dégradé** ?

Peut-on prévoir l'**évolution** des anomalies ?

Doit-on déclencher une procédure d'**arrêt** du système ?

Doit-on **signaler** les anomalies ?

Est-on sûr d'un diagnostic ?

Compromis précocité/sûreté du diagnostic

Quoi **mesurer** pour poser un diagnostic ?

1. Généralités : quelques idées sur le diagnostic

Les mesures effectuées sont-elles **vraisemblables** ?

Le système est-il en **bon** état de fonctionnement ?

Le système présente-t-il des **anomalies** ?

Peut-on **localiser** ces anomalies ?

Peut-on **annuler** ou réduire les effets de ces anomalies ?

Malgré les défauts, le système peut-il remplir sa **mission** ?

Doit-on placer le système en mode **dégradé** ?

Peut-on prévoir l'**évolution** des anomalies ?

Doit-on déclencher une procédure d'**arrêt** du système ?

Doit-on **signaler** les anomalies ?

Est-on sûr d'un diagnostic ?

Compromis précocité/sûreté du diagnostic

Quoi mesurer pour poser un diagnostic ?

1. Généralités : quelques idées sur le diagnostic

Les mesures effectuées sont-elles **vraisemblables** ?

Le système est-il en **bon** état de fonctionnement ?

Le système présente-t-il des **anomalies** ?

Peut-on **localiser** ces anomalies ?

Peut-on **annuler** ou réduire les effets de ces anomalies ?

Malgré les défauts, le système peut-il remplir sa **mission** ?

Doit-on placer le système en mode **dégradé** ?

Peut-on prévoir l'**évolution** des anomalies ?

Doit-on déclencher une procédure d'**arrêt** du système ?

Doit-on **signaler** les anomalies ?

Est-on **sûr** d'un diagnostic ?

Compromis précocité/sûreté du diagnostic

Quoi mesurer pour poser un diagnostic ?

1. Généralités : quelques idées sur le diagnostic

Les mesures effectuées sont-elles **vraisemblables** ?

Le système est-il en **bon** état de fonctionnement ?

Le système présente-t-il des **anomalies** ?

Peut-on **localiser** ces anomalies ?

Peut-on **annuler** ou réduire les effets de ces anomalies ?

Malgré les défauts, le système peut-il remplir sa **mission** ?

Doit-on placer le système en mode **dégradé** ?

Peut-on prévoir l'**évolution** des anomalies ?

Doit-on déclencher une procédure d'**arrêt** du système ?

Doit-on **signaler** les anomalies ?

Est-on **sûr** d'un diagnostic ?

Compromis précocité/sûreté du diagnostic

Quoi **mesurer** pour poser un diagnostic ?

1. Généralités : quelques idées sur le diagnostic

Les mesures effectuées sont-elles **vraisemblables** ?

Le système est-il en **bon** état de fonctionnement ?

Le système présente-t-il des **anomalies** ?

Peut-on **localiser** ces anomalies ?

Peut-on **annuler** ou réduire les effets de ces anomalies ?

Malgré les défauts, le système peut-il remplir sa **mission** ?

Doit-on placer le système en mode **dégradé** ?

Peut-on prévoir l'**évolution** des anomalies ?

Doit-on déclencher une procédure d'**arrêt** du système ?

Doit-on **signaler** les anomalies ?

Est-on **sûr** d'un diagnostic ?

Compromis précocité/sûreté du diagnostic

Quoi **mesurer** pour poser un diagnostic ?

1. Généralités : quelques idées sur le diagnostic

Les mesures effectuées sont-elles **vraisemblables** ?

Le système est-il en **bon** état de fonctionnement ?

Le système présente-t-il des **anomalies** ?

Peut-on **localiser** ces anomalies ?

Peut-on **annuler** ou réduire les effets de ces anomalies ?

Malgré les défauts, le système peut-il remplir sa **mission** ?

Doit-on placer le système en mode **dégradé** ?

Peut-on prévoir l'**évolution** des anomalies ?

Doit-on déclencher une procédure d'**arrêt** du système ?

Doit-on **signaler** les anomalies ?

Est-on **sûr** d'un diagnostic ?

Compromis précocité/sûreté du diagnostic

Quoi **mesurer** pour poser un diagnostic ?

1. Généralités : quelques idées sur le diagnostic

Les mesures effectuées sont-elles **vraisemblables** ?

Le système est-il en **bon** état de fonctionnement ?

Le système présente-t-il des **anomalies** ?

Peut-on **localiser** ces anomalies ?

Peut-on **annuler** ou réduire les effets de ces anomalies ?

Malgré les défauts, le système peut-il remplir sa **mission** ?

Doit-on placer le système en mode **dégradé** ?

Peut-on prévoir l'**évolution** des anomalies ?

Doit-on déclencher une procédure d'**arrêt** du système ?

Doit-on **signaler** les anomalies ?

Est-on **sûr** d'un diagnostic ?

Compromis précocité/sûreté du diagnostic

Quoi **mesurer** pour poser un diagnostic ?

1. Généralités : les étapes de la validation et du diagnostic

- Pour améliorer la sécurité et la sûreté de fonctionnement d'un système, il faut donc essayer de s'affranchir de l'influence de ces fautes.
- Différentes méthodes peuvent être utilisées de façon conjointe :
 - prévention
 - tolérance
 - élimination
 - prévision

1. Généralités : les étapes de la validation et du diagnostic

- Pour améliorer la sécurité et la sûreté de fonctionnement d'un système, il faut donc essayer de s'affranchir de l'influence de ces fautes.
- Différentes méthodes peuvent être utilisées de façon conjointe :
 - prévention
 - tolérance
 - élimination
 - prévision

1. Généralités : les étapes de la validation et du diagnostic

Le diagnostic de défaillance est constitué de cinq phases essentielles

- **Détection** : mise en évidence d'événements qui affectent l'évolution du processus. Un événement traduit un changement de situation.
- **Isolation** : analyse des événements pour distinguer ceux qui sont anormaux et localisation précise de la défaillance.
- **Identification** : quantifier la défaillance en estimant sa durée et son amplitude.
- **Pronostic** : on cherche à prévoir l'évolution des fautes détectées.
- **Reconfiguration** : concerne la remise en état de la partie défectueuse du système de façon à lui permettre de satisfaire à sa mission.

1. Généralités : les étapes de la validation et du diagnostic

Le diagnostic de défaillance est constitué de cinq phases essentielles

- **Détection** : mise en évidence d'événements qui affectent l'évolution du processus.
Un événement traduit un changement de situation.
- **Isolation** : analyse des événements pour distinguer ceux qui sont anormaux et localisation précise de la défaillance.
- **Identification** : quantifier la défaillance en estimant sa durée et son amplitude.
- **Pronostic** : on cherche à prévoir l'évolution des fautes détectées.
- **Reconfiguration** : concerne la remise en état de la partie défectueuse du système de façon à lui permettre de satisfaire à sa mission.

1. Généralités : les étapes de la validation et du diagnostic

Le diagnostic de défaillance est constitué de cinq phases essentielles

- **Détection** : mise en évidence d'événements qui affectent l'évolution du processus.
Un événement traduit un changement de situation.
- **Isolation** : analyse des événements pour distinguer ceux qui sont anormaux et localisation précise de la défaillance.
- **Identification** : quantifier la défaillance en estimant sa durée et son amplitude.
- **Pronostic** : on cherche à prévoir l'évolution des fautes détectées.
- **Reconfiguration** : concerne la remise en état de la partie défectueuse du système de façon à lui permettre de satisfaire à sa mission.

1. Généralités : les étapes de la validation et du diagnostic

Le diagnostic de défaillance est constitué de cinq phases essentielles

- **Détection** : mise en évidence d'événements qui affectent l'évolution du processus.
Un événement traduit un changement de situation.
- **Isolation** : analyse des événements pour distinguer ceux qui sont anormaux et localisation précise de la défaillance.
- **Identification** : quantifier la défaillance en estimant sa durée et son amplitude.
- **Pronostic** : on cherche à prévoir l'évolution des fautes détectées.
- **Reconfiguration** : concerne la remise en état de la partie défectueuse du système de façon à lui permettre de satisfaire à sa mission.

1. Généralités : les étapes de la validation et du diagnostic

Le diagnostic de défaillance est constitué de cinq phases essentielles

- **Détection** : mise en évidence d'événements qui affectent l'évolution du processus. Un événement traduit un changement de situation.
- **Isolation** : analyse des événements pour distinguer ceux qui sont anormaux et localisation précise de la défaillance.
- **Identification** : quantifier la défaillance en estimant sa durée et son amplitude.
- **Pronostic** : on cherche à prévoir l'évolution des fautes détectées.
- **Reconfiguration** : concerne la remise en état de la partie défectueuse du système de façon à lui permettre de satisfaire à sa mission.

1. Généralités : les étapes de la validation et du diagnostic

Le diagnostic de défaillance est constitué de cinq phases essentielles

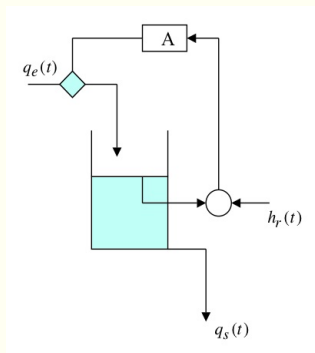
- **Détection** : mise en évidence d'événements qui affectent l'évolution du processus. Un événement traduit un changement de situation.
- **Isolation** : analyse des événements pour distinguer ceux qui sont anormaux et localisation précise de la défaillance.
- **Identification** : quantifier la défaillance en estimant sa durée et son amplitude.
- **Pronostic** : on cherche à prévoir l'évolution des fautes détectées.
- **Reconfiguration** : concerne la remise en état de la partie défectueuse du système de façon à lui permettre de satisfaire à sa mission.

1. Généralités : enjeux de la surveillance des systèmes

- Sécurité du personnel
- Sûreté de fonctionnement des systèmes
- Réduction des rejets et des rebuts
- Réduction des temps d'immobilisation
- Estimation des perturbations

2. Exemple : surveillance d'un réservoir (système bouclé)

- Description du système



- Mesures disponibles

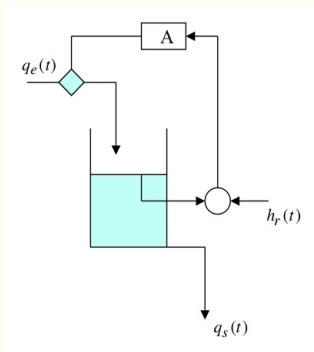
q_s

h

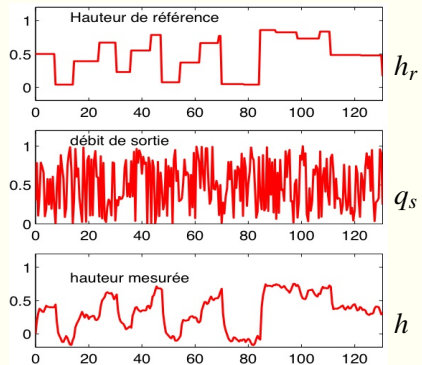
- But : détection de faute du régulateur
- Méthode : analyse de redondance

2. Exemple : surveillance d'un réservoir (système bouclé)

● Description du système



● Mesures disponibles

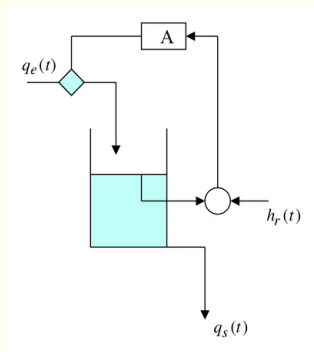


● But : détection de faute du régulateur

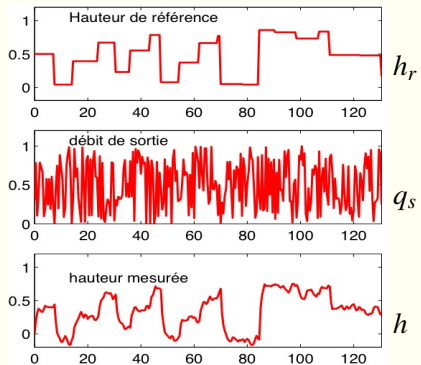
● Méthode : analyse de redondance

2. Exemple : surveillance d'un réservoir (système bouclé)

● Description du système



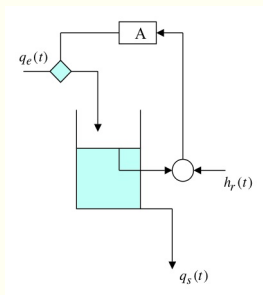
● Mesures disponibles



- But : détection de faute du régulateur
- Méthode : analyse de redondance

2. Exemple : surveillance d'un réservoir (système bouclé)

- Système



- Diagnostic

- Système réel

$$h(s) = \frac{1}{sS + A_o} (A_o h_r(s) - q_s(s))$$

- Modèle

$$\hat{h}(s) = \frac{1}{sS + A} (A h_r(s) - q_s(s))$$

- Défaut

$$A_o = A + \delta A$$

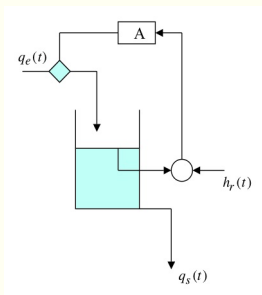
- Erreur

$$e(t) = \hat{h}(t) - h(t)$$

$$e(s) \cong \frac{\delta A}{(sS + A)^2} (sS h_r(s) + q_s(s))$$

2. Exemple : surveillance d'un réservoir (système bouclé)

- Système



- Diagnostic

- Système réel

$$h(s) = \frac{1}{sS + A_o} (A_o h_r(s) - q_s(s))$$

- Modèle

$$\hat{h}(s) = \frac{1}{sS + A} (A h_r(s) - q_s(s))$$

- Défaut

$$A_o = A + \delta A$$

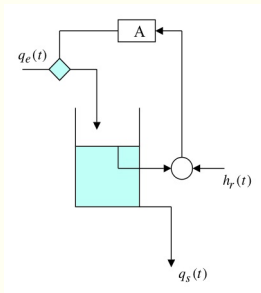
- Erreur

$$e(t) = \hat{h}(t) - h(t)$$

$$e(s) \cong \frac{\delta A}{(sS + A)^2} (sS h_r(s) + q_s(s))$$

2. Exemple : surveillance d'un réservoir (système bouclé)

- Système



- Diagnostic

- Système réel

$$h(s) = \frac{1}{sS + A_o} (A_o h_r(s) - q_s(s))$$

- Modèle

$$\hat{h}(s) = \frac{1}{sS + A} (A h_r(s) - q_s(s))$$

- Défaut

$$A_o = A + \delta A$$

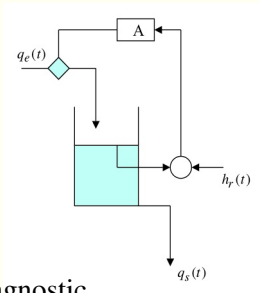
- Erreur

$$e(t) = \hat{h}(t) - h(t)$$

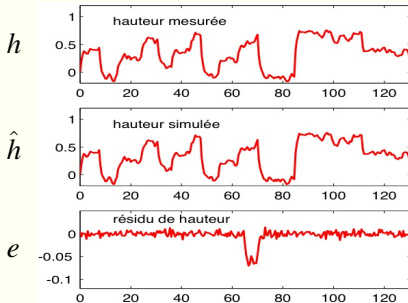
$$e(s) \cong \frac{\delta A}{(sS + A)^2} (sS h_r(s) + q_s(s))$$

2. Exemple : surveillance d'un réservoir (système bouclé)

- Système



- Diagnostic



- Système réel

$$h(s) = \frac{1}{sS + A_o} (A_o h_r(s) - q_s(s))$$

- Modèle

$$\hat{h}(s) = \frac{1}{sS + A} (A h_r(s) - q_s(s))$$

- Défaut

$$A_o = A + \delta A$$

- Erreur

$$e(t) = \hat{h}(t) - h(t)$$

$$e(s) \cong \frac{\delta A}{(sS + A)^2} (sS h_r(s) + q_s(s))$$

2. Exemple : surveillance d'un réservoir (système bouclé)

- Résidus (sensibles aux défauts)

$$e(s) \cong \frac{\delta A}{(sS + A)^2} (sSh_r(s) + q_s(s))$$

- Implémentation

- Analyse des résidus - Analyse structurale

- Analyse quantitative

- Influence de l'entrée sur la détection de défaut. Entrée optimale ?

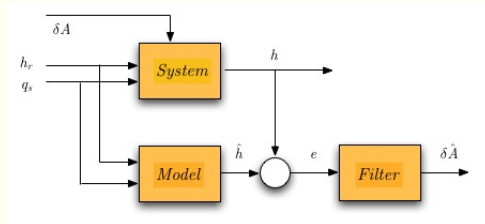
- L'inversion est-elle possible ?

2. Exemple : surveillance d'un réservoir (système bouclé)

- Résidus (sensibles aux défauts)

$$e(s) \cong \frac{\delta A}{(sS + A)^2} (sSh_r(s) + q_s(s))$$

- Implémentation



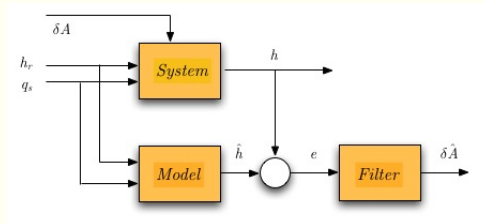
- Analyse des résidus - Analyse structurale
 - Analyse quantitative
 - Influence de l'entrée sur la détection de défaut. Entrée optimale ?
 - L'inversion est-elle possible ?

2. Exemple : surveillance d'un réservoir (système bouclé)

- Résidus (sensibles aux défauts)

$$e(s) \cong \frac{\delta A}{(sS + A)^2} (sSh_r(s) + q_s(s))$$

- Implémentation

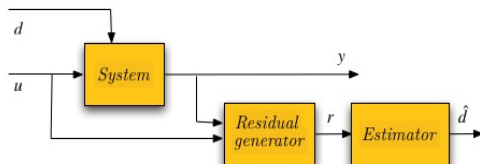


- Analyse des résidus - Analyse structurale
 - Analyse quantitative
 - Influence de l'entrée sur la détection de défaut. Entrée optimale ?
 - L'inversion est-elle possible ?

3. Génération d'équations de redondance

- Principe : détection de faute par découplage

$$y(s) = G_u(s)u(s) + G_d(s)d(s)$$



- Générateur idéal de résidus

$$r(s) = H_y(s)y(s) + H_u(s)u(s)$$

$$r(s) = (H_y(s)G_u(s) + H_u(s))u(s) + H_y(s)G_d(s)d(s)$$

- Interprétation

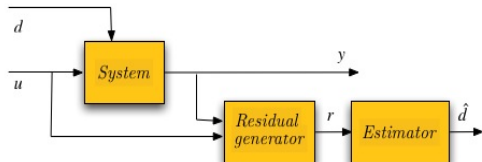
$$r(s) = H_y(s)y(s) + H_u(s)u(s) \quad \text{sans défaut}$$

$$r(s) = H_y(s)G_d(s)d(s) \quad \text{avec un défaut}$$

3. Génération d'équations de redondance

- Principe : détection de faute par découplage

$$y(s) = G_u(s)u(s) + G_d(s)d(s)$$



- Générateur idéal de résidus

$$r(s) = H_y(s)y(s) + H_u(s)u(s)$$

$$r(s) = (H_y(s)G_u(s) + H_u(s))u(s) + H_y(s)G_d(s)d(s)$$

$$H_y(s)G_u(s) + H_u(s) = 0$$

$$H_y(s)G_d(s) \neq 0$$

Interprétation

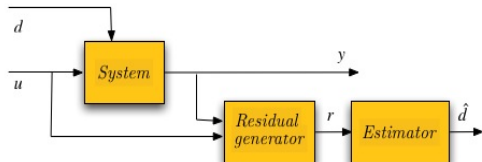
• $r(s) = H_y(s)y(s) + H_u(s)u(s)$: résidu nul si pas de faute

• $r(s) = H_y(s)G_d(s)d(s)$: résidu non nul si présence d'une faute

3. Génération d'équations de redondance

- Principe : détection de faute par découplage

$$y(s) = G_u(s)u(s) + G_d(s)d(s)$$



- Générateur idéal de résidus

$$r(s) = H_y(s)y(s) + H_u(s)u(s)$$

$$r(s) = (H_y(s)G_u(s) + H_u(s))u(s) + H_y(s)G_d(s)d(s)$$

$$H_y(s)G_u(s) + H_u(s) = 0$$

$$H_y(s)G_d(s) \neq 0$$

- Interprétation

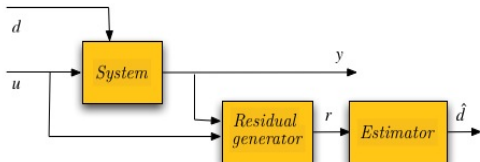
$$r(s) = H_y(s)y(s) + H_u(s)u(s)$$

$$r(s) = H_y(s)G_d(s)d(s)$$

3. Génération d'équations de redondance

- Principe : détection de faute par découplage

$$y(s) = G_u(s)u(s) + G_d(s)d(s)$$



- Générateur idéal de résidus

$$r(s) = H_y(s)y(s) + H_u(s)u(s)$$

$$r(s) = (H_y(s)G_u(s) + H_u(s))u(s) + H_y(s)G_d(s)d(s)$$

$$H_y(s)G_u(s) + H_u(s) = 0$$

$$H_y(s)G_d(s) \neq 0$$

- Interprétation

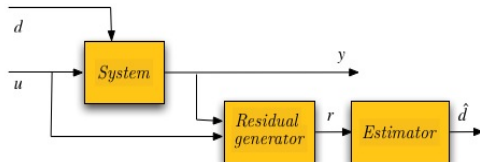
$$r(s) = H_y(s)y(s) + H_u(s)u(s) \quad \text{forme de calcul}$$

$$r(s) = H_y(s)G_d(s)d(s) \quad \text{forme explicative des défauts}$$

3. Génération d'équations de redondance

- Principe : détection de faute par découplage

$$y(s) = G_u(s)u(s) + G_d(s)d(s)$$



- Générateur idéal de résidus

$$r(s) = H_y(s)y(s) + H_u(s)u(s)$$

$$r(s) = (H_y(s)G_u(s) + H_u(s))u(s) + H_y(s)G_d(s)d(s)$$

$$H_y(s)G_u(s) + H_u(s) = 0$$

$$H_y(s)G_d(s) \neq 0$$

- Interprétation

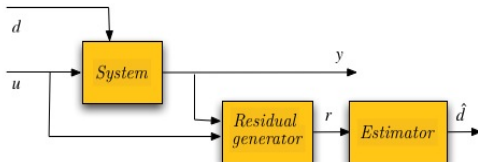
$$r(s) = H_y(s)y(s) + H_u(s)u(s) \quad \text{forme de calcul}$$

$$r(s) = H_y(s)G_d(s)d(s) \quad \text{forme explicative des défauts}$$

3. Génération d'équations de redondance

- Principe : détection de faute par découplage

$$y(s) = G_u(s)u(s) + G_d(s)d(s)$$



- Générateur idéal de résidus

$$r(s) = H_y(s)y(s) + H_u(s)u(s)$$

$$r(s) = (H_y(s)G_u(s) + H_u(s))u(s) + H_y(s)G_d(s)d(s)$$

$$H_y(s)G_u(s) + H_u(s) = 0$$

$$H_y(s)G_d(s) \neq 0$$

- Interprétation

$$r(s) = H_y(s)y(s) + H_u(s)u(s) \quad \text{forme de calcul}$$

$$r(s) = H_y(s)G_d(s)d(s) \quad \text{forme explicative des défauts}$$

3. Génération d'équations de redondance

- Système avec défauts et perturbations

$$y(s) = G_u(s)u(s) + G_d(s)d(s) + G_p p(s)$$

- Résidus

$$r(s) = H_y(s)y(s) + H_u(s)u(s) \quad \text{forme de calcul}$$

$$r(s) = H_y(s)G_d(s)d(s) \quad \text{forme explicative des défauts}$$

- Générateur de résidus

$$H_y(s)G_u(s) + H_u(s) = 0$$

$$H_y(s)G_d(s) \neq 0$$

$$H_y(s)G_p(s) = 0$$

- Solution robuste

$$H_y(s)G_u(s) + H_u(s) = 0$$

$$\max | H_y(s)G_d(s) |$$

$$\min | H_y(s)G_p(s) |$$

3. Génération d'équations de redondance

- Système avec défauts et perturbations

$$y(s) = G_u(s)u(s) + G_d(s)d(s) + G_p p(s)$$

- Résidus

$$r(s) = H_y(s)y(s) + H_u(s)u(s) \quad \text{forme de calcul}$$

$$r(s) = H_y(s)G_d(s)d(s) \quad \text{forme explicative des défauts}$$

- Générateur de résidus

$$H_y(s)G_u(s) + H_u(s) = 0$$

$$H_y(s)G_d(s) \neq 0$$

$$H_y(s)G_p(s) = 0$$

- Solution robuste

$$H_y(s)G_u(s) + H_u(s) = 0$$

$$\max | H_y(s)G_d(s) |$$

$$\min | H_y(s)G_p(s) |$$

3. Génération d'équations de redondance

- Système avec défauts et perturbations

$$y(s) = G_u(s)u(s) + G_d(s)d(s) + G_p p(s)$$

- Résidus

$$r(s) = H_y(s)y(s) + H_u(s)u(s) \quad \text{forme de calcul}$$

$$r(s) = H_y(s)G_d(s)d(s) \quad \text{forme explicative des défauts}$$

- Générateur de résidus

$$H_y(s)G_u(s) + H_u(s) = 0$$

$$H_y(s)G_d(s) \neq 0$$

$$H_y(s)G_p(s) = 0$$

- Solution robuste

$$H_y(s)G_u(s) + H_u(s) = 0$$

$$\max | H_y(s)G_d(s) |$$

$$\min | H_y(s)G_p(s) |$$

3. Génération d'équations de redondance

- Système avec défauts et perturbations

$$y(s) = G_u(s)u(s) + G_d(s)d(s) + G_p p(s)$$

- Résidus

$$r(s) = H_y(s)y(s) + H_u(s)u(s) \quad \text{forme de calcul}$$

$$r(s) = H_y(s)G_d(s)d(s) \quad \text{forme explicative des défauts}$$

- Générateur de résidus

$$H_y(s)G_u(s) + H_u(s) = 0$$

$$H_y(s)G_d(s) \neq 0$$

$$H_y(s)G_p(s) = 0$$

- Solution robuste

$$H_y(s)G_u(s) + H_u(s) = 0$$

$$\max | H_y(s)G_d(s) |$$

$$\min | H_y(s)G_p(s) |$$

3. Génération indirecte d'équations de redondance

Diagnosis à base d'observateurs

- Reconstruction d'état au moyen d'observateur
- Reconstruction de sortie
- Génération de résidus

Techniques particulières

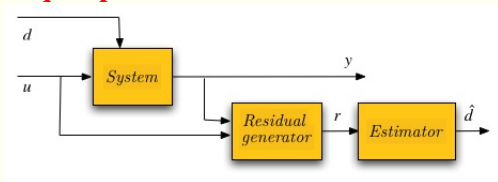
3. Génération indirecte d'équations de redondance

Diagnostic à base d'observateurs

- Reconstruction d'état au moyen d'observateur
- Reconstruction de sortie
- Génération de résidus

Techniques particulières

- Structure classique



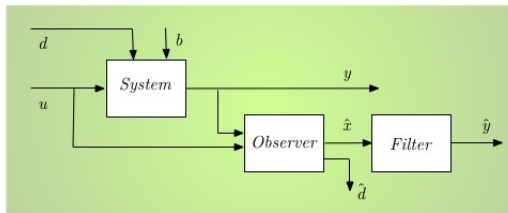
3. Génération indirecte d'équations de redondance

Diagnosis à base d'observateurs

- Reconstruction d'état au moyen d'observateur
- Reconstruction de sortie
- Génération de résidus

Techniques particulières

- Structure classique
- **Observateur à entrées inconnues**



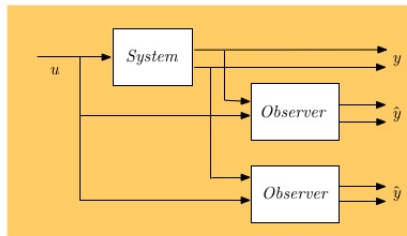
3. Génération indirecte d'équations de redondance

Diagnostic à base d'observateurs

- Reconstruction d'état au moyen d'observateur
- Reconstruction de sortie
- Génération de résidus

Techniques particulières

- Structure classique
- Observateur à entrées inconnues
- **Banc d'observateurs**



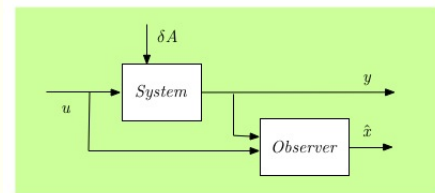
3. Génération indirecte d'équations de redondance

Diagnostic à base d'observateurs

- Reconstruction d'état au moyen d'observateur
- Reconstruction de sortie
- Génération de résidus

Techniques particulières

- Structure classique
- Observateur à entrées inconnues
- Banc d'observateurs
- **Observateur robuste**



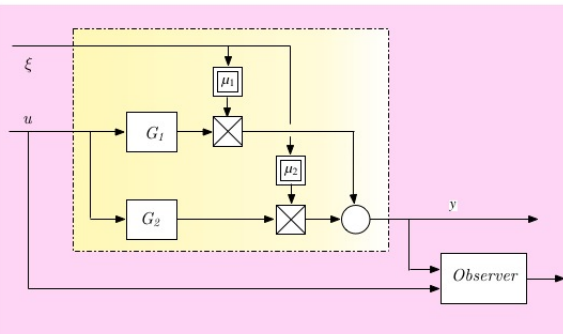
3. Génération indirecte d'équations de redondance

Diagnostic à base d'observateurs

- Reconstruction d'état au moyen d'observateur
- Reconstruction de sortie
- Génération de résidus

Techniques particulières

- Structure classique
- Observateur à entrées incor.
- Banc d'observateurs
- Observateur robuste
- **Multi-observateurs**



3. Génération indirecte d'équations de redondance

Diagnosis à base d'observateurs

- Reconstruction d'état au moyen d'observateur
- Reconstruction de sortie
- Génération de résidus

Techniques particulières

- Structure classique
- Observateur à entrées inconnues
- Banc d'observateurs
- Observateur robuste
- Multi-observateurs
- **Observateur à mémoire finie**

$$\{u(t), y(t), t \in [k - T, k]\} \rightarrow \hat{x}(k)$$

3. Génération indirecte d'équations de redondance

Diagnosis à base d'observateurs

- Reconstruction d'état au moyen d'observateur
- Reconstruction de sortie
- Génération de résidus

Techniques particulières

- Structure classique
- Observateur à entrées inconnues
- Banc d'observateurs
- Observateur robuste
- Multi-observateurs
- Observateur à mémoire finie
- Analyse en composantes principales

3. Génération indirecte d'équations de redondance

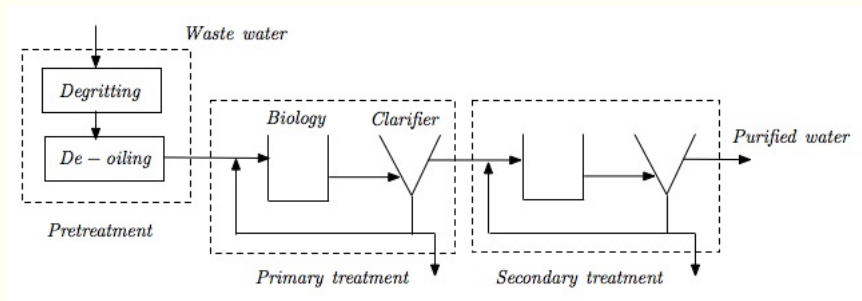
Diagnosis à base d'observateurs

- Reconstruction d'état au moyen d'observateur
- Reconstruction de sortie
- Génération de résidus

Techniques particulières

- Structure classique
- Observateur à entrées inconnues
- Banc d'observateurs
- Observateur robuste
- Multi-observateurs
- Observateur à mémoire finie
- Analyse en composantes principales
- Observateurs de systèmes à commutation

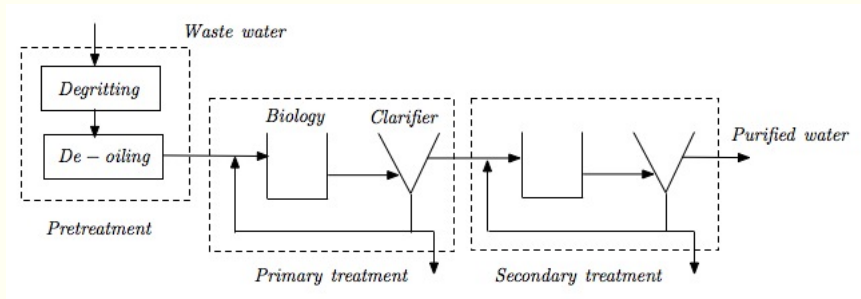
4. Applications typiques : station d'épuration d'eau



Problèmes à traiter :

- Validation de données
- Détection de défauts de capteurs
- Détection de défauts des réacteurs biologiques

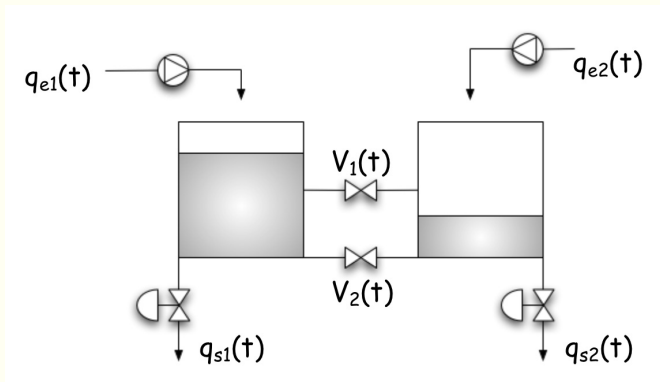
4. Applications typiques : station d'épuration d'eau



Problèmes à traiter :

- Validation de données
- Détection de défauts de capteurs
- Détection de défauts des réacteurs biologiques

4. Applications typiques : système hybride

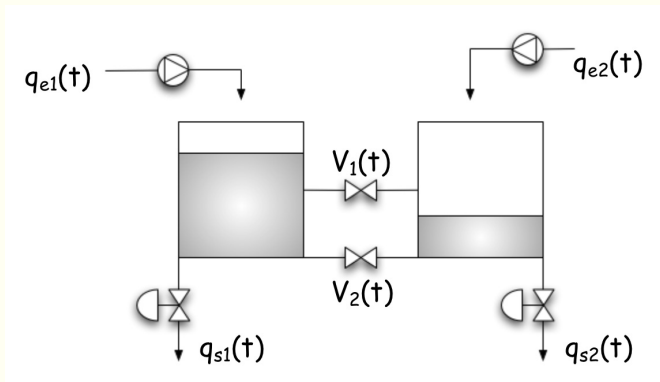


Problème P_1 : $\{q_{e1}, q_{e2}, q_{s1}, q_{s2}, V_1, V_2\} \rightarrow \{h_1(t), h_2(t)\}$

Problème P_2 : $\{q_{e1}, q_{e2}, q_{s1}, q_{s2}\} \rightarrow \{h_1(t), h_2(t), V_1(t), V_2(t)\}$

Problème P_3 : instrumentation minimale pour le diagnostic

4. Applications typiques : système hybride



Problème P_1 : $\{q_{e1}, q_{e2}, q_{s1}, q_{s2}, V_1, V_2\} \rightarrow \{h_1(t), h_2(t)\}$

Problème P_2 : $\{q_{e1}, q_{e2}, q_{s1}, q_{s2}\} \rightarrow \{h_1(t), h_2(t), V_1(t), V_2(t)\}$

Problème P_3 : instrumentation minimale pour le diagnostic

4. Applications typiques : injection common rail

- Modèle de connaissance

$$Q_0(t) = \frac{P_0(t)}{C_1 T_0(t)} \sqrt{P_0(t) - P_1(t)}$$

$$\dot{P}_1(t) = C_2 T_0(t) (Q_0(t) - Q_1(t))$$

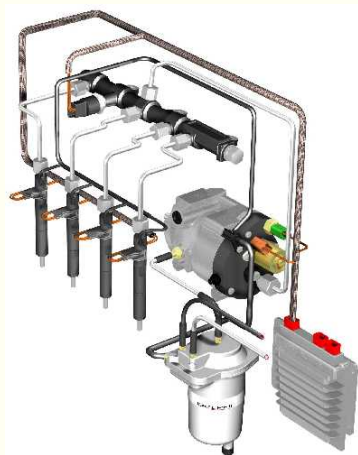
$$Q_1(t) = f(P_2(t), P_1(t), T_1(t))$$

$$\dot{P}_2(t) = C_3 T_2(t) (Q_1(t) - Q_2(t))$$

...

Problèmes à traiter

- Ajustement des paramètres
- Validation du modèle
- Simplification de modèle
- Validation de données
- Détection de fuites



4. Applications typiques : injection common rail

- Modèle de connaissance

$$Q_0(t) = \frac{P_0(t)}{C_1 T_0(t)} \sqrt{P_0(t) - P_1(t)}$$

$$\dot{P}_1(t) = C_2 T_0(t) (Q_0(t) - Q_1(t))$$

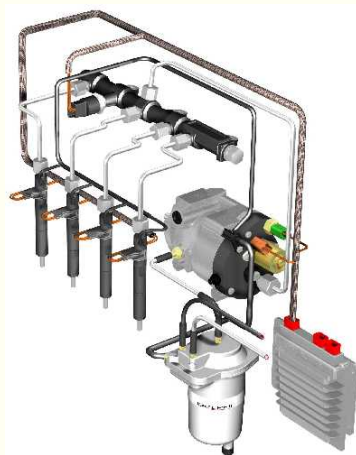
$$Q_1(t) = f(P_2(t), P_1(t), T_1(t))$$

$$\dot{P}_2(t) = C_3 T_2(t) (Q_1(t) - Q_2(t))$$

...

- Problèmes à traiter

- Ajustement des paramètres
- Validation du modèle
- Simplification de modèle
- Validation de données
- Détection de fuites



5. Mise en œuvre du diagnostic. Les difficultés

- Modèles imprécis

$$\dot{x}(t) = A(\theta)x(t) + Bu(t), \quad \theta \in [\theta_{min}\theta_{max}]$$

$$y(t) = Cx(t)$$

- Mesures partielles

$$\dim y(t) \ll \dim x(t)$$

- Mesures imprécises

$$y(t) = C(\theta)x(t) + \varepsilon(t), \quad \theta \in [\theta_{min}\theta_{max}], \quad \varepsilon \sim N(0, V)$$

- Diagnostic des systèmes avec loi de commande
- Diagnostic sans modèle a priori

5. Mise en œuvre du diagnostic. Les difficultés

- Modèles imprécis

$$\dot{x}(t) = A(\theta)x(t) + Bu(t), \quad \theta \in [\theta_{min}\theta_{max}]$$

$$y(t) = Cx(t)$$

- Mesures partielles

$$\dim y(t) \ll \dim x(t)$$

- Mesures imprécises

$$y(t) = C(\theta)x(t) + \varepsilon(t), \quad \theta \in [\theta_{min}\theta_{max}], \quad \varepsilon \sim N(0, V)$$

- Diagnostic des systèmes avec loi de commande
- Diagnostic sans modèle a priori

5. Mise en œuvre du diagnostic. Les difficultés

- Modèles imprécis

$$\dot{x}(t) = A(\theta)x(t) + Bu(t), \quad \theta \in [\theta_{min}\theta_{max}]$$

$$y(t) = Cx(t)$$

- Mesures partielles

$$\dim y(t) \ll \dim x(t)$$

- Mesures imprécises

$$y(t) = C(\theta)x(t) + \varepsilon(t), \quad \theta \in [\theta_{min}\theta_{max}], \quad \varepsilon \sim N(0, V)$$

- Diagnostic des systèmes avec loi de commande
- Diagnostic sans modèle a priori

5. Mise en œuvre du diagnostic. Les difficultés

- Modèles imprécis

$$\dot{x}(t) = A(\theta)x(t) + Bu(t), \quad \theta \in [\theta_{min}\theta_{max}]$$

$$y(t) = Cx(t)$$

- Mesures partielles

$$\dim y(t) \ll \dim x(t)$$

- Mesures imprécises

$$y(t) = C(\theta)x(t) + \varepsilon(t), \quad \theta \in [\theta_{min}\theta_{max}], \quad \varepsilon \sim N(0, V)$$

- Diagnostic des systèmes avec loi de commande
- Diagnostic sans modèle a priori

5. Mise en œuvre du diagnostic. Les difficultés

- Modèles imprécis

$$\dot{x}(t) = A(\theta)x(t) + Bu(t), \quad \theta \in [\theta_{min}\theta_{max}]$$

$$y(t) = Cx(t)$$

- Mesures partielles

$$\dim y(t) \ll \dim x(t)$$

- Mesures imprécises

$$y(t) = C(\theta)x(t) + \varepsilon(t), \quad \theta \in [\theta_{min}\theta_{max}], \quad \varepsilon \sim N(0, V)$$

- Diagnostic des systèmes avec loi de commande
- Diagnostic sans modèle a priori

5. Mise en œuvre du diagnostic. Outils pour le diagnostic

- Statistiques pour la détection de valeurs aberrantes (Wald, Pearson ...)
- Détection de saut dans un signal (Page, CUSUM ...)
- Reconstruction d'état (Luenberger, Kalman, FMO ..)
- Techniques de filtrage (trimming, winsorizing ...)
- Analyse de données (PCA, ICA, RTLS ...)
- Reconnaissance de forme
- Estimation de paramètres
- Prédiction de série temporelle
- ...

5. Mise en œuvre du diagnostic. Références

- | | | |
|---|-----------------|------|
| • Detection of Abrupt Changes. Theory and appli. | M. Basseville | 1993 |
| • Fault Diagnosis : Models. Artificial Intelligence Applic. | J. Korbicz | 2004 |
| • Théorie logique du diagnostic à base de modèles | P. Dague | 2001 |
| • Diagnostic des systèmes linéaires | D. Maquin | 2000 |
| • Fault Detec. and Diag. in Chem. and Petrochem. Proc. | D. Himmelblau | 1978 |
| • Design and upgrade of process plant instrumentation | J. Romagnoli | 2000 |
| • Data Reconciliation and Gross Error Detection | S. Narasimhan | 2000 |
| • Process design and plant operation research | J. Bagajewicz | 2000 |
| • Validation de données et diagnostic | J. Ragot | 1990 |
| • Diagnosis and Fault-tolerant Control | M. Blanke | 2006 |
| • Fault Detection and Diagnosis in Industrial Systems | L.H. Chiang | 2001 |
| • Fault-Diagnosis Systems | R. Isermann | 2006 |
| • Fault Detection and Diagnosis in Engineering Systems | J. Gertler | 1998 |
| • Adaptive Filtering and Change Detection, | F. Gustafsson | 2000 |
| • Supervision and Control for Industrial Processes | B. Sohlberg | 1998 |
| • Intelligent Fault Diag. and Prognosis for Eng. Sys. | G. Vachtsevanos | 2006 |
| • Diagnostic des défaillances | G. Zwingelstein | 2005 |
| • Diagnostic et reconnaissance de formes | B. Dubuisson | 1990 |
| • Advanced Automotive Fault Diagnosis | T. Denton | 2006 |
| • Fault Diagnosis of Analog Integrated Circuits | P. Kabisatpathy | 2005 |

5. Un problème difficile : capteur avec paramètres incertains

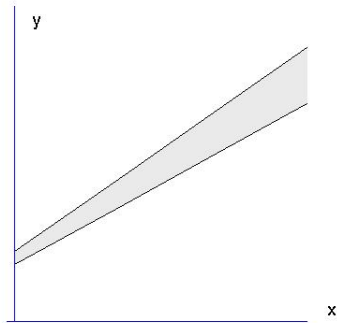
Capteur incertain

- Modèle du capteur

$$y = ax + b$$

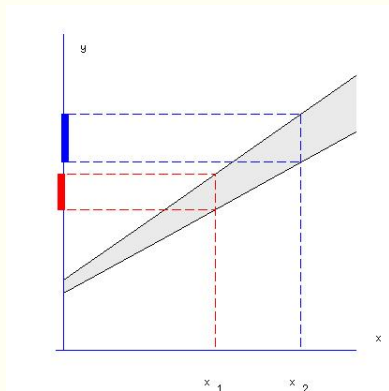
$$a \in [a^- \ a^+]$$

$$b \in [b^- \ b^+]$$



5. Un problème difficile : capteur avec paramètres incertains

Mesures de deux quantités différentes x_1 et x_2



- Pour x_1 , la mesure obtenue y_1 appartient à l'intervalle I_1
- Pour x_2 , la mesure obtenue y_2 appartient à l'intervalle I_2
- Les intervalles I_1 et I_2 sont-ils différents ?
- Principe du calcul :

$$y = (a_0 + \delta a)x + b_0 + \delta b$$
$$|\delta a| \leq \Delta_a \quad |\delta b| \leq \Delta_b$$

$$y_1^- = (a_0 - \Delta_a)x_1 + b_0 - \Delta_b$$

$$y_1^+ = (a_0 + \Delta_a)x_1 + b_0 + \Delta_b$$

$$y_2^- = (a_0 - \Delta_a)x_2 + b_0 - \Delta_b$$

$$y_2^+ = (a_0 + \Delta_a)x_2 + b_0 + \Delta_b$$

Test d'intersection de $[y_1^- \ y_1^+]$ et $[y_2^- \ y_2^+]$

5. Un problème difficile : capteur avec paramètres incertains

Mesures de deux quantités différentes x_1 et x_2

- Pour x_1 , la mesure obtenue y_1 appartient à l'intervalle I_1
- Pour x_2 , la mesure obtenue y_2 appartient à l'intervalle I_2
- Les intervalles I_1 et I_2 sont-ils différents ?
- Principe du calcul :

$$y = (a_0 + \delta a)x + b_0 + \delta b$$

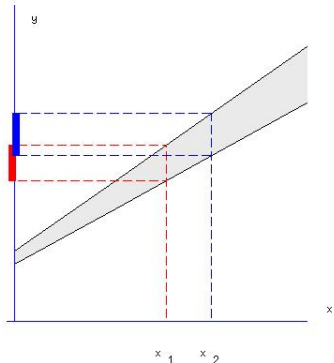
$$|\delta a| \leq \Delta_a \quad |\delta b| \leq \Delta_b$$

$$y_1^- = (a_0 - \Delta_a)x_1 + b_0 - \Delta_b$$

$$y_1^+ = (a_0 + \Delta_a)x_1 + b_0 + \Delta_b$$

$$y_2^- = (a_0 - \Delta_a)x_2 + b_0 - \Delta_b$$

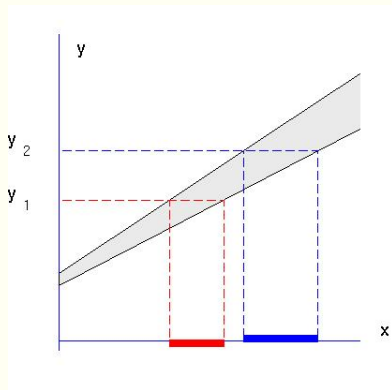
$$y_2^+ = (a_0 + \Delta_a)x_2 + b_0 + \Delta_b$$



Test d'intersection de $[y_1^- \ y_1^+]$ et $[y_2^- \ y_2^+]$

5. Un problème difficile : capteur avec paramètres incertains

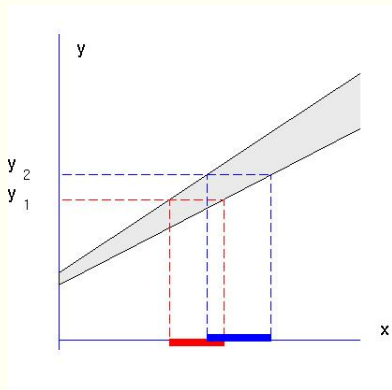
Problème d'inversion : déduire l'état du système à partir des mesures



- On dispose de deux mesures y_1 and y_2
- Valeur des variables correspondantes ?
- Condition de distingabilité ?
- Principe du calcul
- Plus généralement : influence de l'imprécision des modèles

5. Un problème difficile : capteur avec paramètres incertains

Problème d'inversion : déduire l'état du système à partir des mesures



- On dispose de deux mesures y_1 and y_2
- Valeur des variables correspondantes ?
- Condition de distingabilité ?
- Principe du calcul
- Plus généralement : influence de l'imprécision des modèles

5. Système à paramètres de type intervalle

- Modèle

$$y_{k+1} = ay_k + bu_k + f_k$$

- Equation de mesure

$$\tilde{y}_k = y_k + e_k, \quad |e_k| \leq \delta$$

u est supposé parfaitement connu

- Génération de résidus

$$\begin{aligned} r_k &= \tilde{y}_{k+1} - a\tilde{y}_k - bu_k - e_{k+1} + ae_k \\ &= f_k \end{aligned}$$

Résidus intervalle : $r_k \in [r_k^-, r_k^+]$

$$r_k^- = \tilde{y}_{k+1} - a\tilde{y}_k - bu_k - (a+1)\delta$$

$$r_k^+ = \tilde{y}_{k+1} - a\tilde{y}_k - bu_k + (a+1)\delta$$

Analyse des résidus : $0 \in [r_k^-, r_k^+]$?

5. Système à paramètres de type intervalle

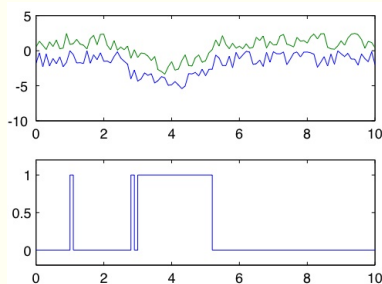
- Résidus intervalle avec erreur de modélisation :

$$[r_k] = [B](y_k - [M]u_k)$$

- Test

Si $0 \in [r_k]$, alors présence d'un défaut

Si $0 \notin [r_k]$, alors présence d'un défaut



- Problème de localisation de défauts
isoler les composantes nulles de r_k des autres
- Le couplage entre les résidus a été négligé
 $\implies$ non détection

5. Système à paramètres de type intervalle. Cas scalaire

$$\begin{aligned}x_{k+1} &= [a].x_k + bu_k, & x_0 \\ y_k &= [c].x_k\end{aligned}$$

- A chaque instant, les valeurs de a et c sont inconnues, mais leurs bornes sont connues. La simulation est faite en considérant l'état comme un intervalle :

$$\begin{aligned}[x_{k+1}] &= [a].[x_k] + [b].u_k \\ [y_k] &= [c].[x_k]\end{aligned}$$

- Si $[a]$ est positif, les deux bornes sont définies par :

$$\begin{cases} x_{k+1}^- &= \frac{1}{2}x_k^- ((a^- + a^+) - (a^+ - a^-)\text{sgn}(x_k^-)) \\ x_{k+1}^+ &= \frac{1}{2}x_k^+ ((a^- + a^+) + (a^+ - a^-)\text{sgn}(x_k^+)) \end{cases}$$

5. Système à paramètres de type intervalle. Cas scalaire

$$\begin{aligned}x_{k+1} &= [a].x_k + bu_k, & x_0 \\ y_k &= [c]x_k\end{aligned}$$

- A chaque instant, les valeurs de a et c sont inconnues, mais leurs bornes sont connues. La simulation est faite en considérant l'état comme un intervalle :

$$\begin{aligned}[x_{k+1}] &= [a].[x_k] + [b].u_k \\ [y_k] &= [c].[x_k]\end{aligned}$$

- Si $[a]$ est positif, les deux bornes sont définies par :

$$\begin{cases} x_{k+1}^- &= \frac{1}{2}x_k^- ((a^- + a^+) - (a^+ - a^-)\text{sgn}(x_k^-)) \\ x_{k+1}^+ &= \frac{1}{2}x_k^+ ((a^- + a^+) + (a^+ - a^-)\text{sgn}(x_k^+)) \end{cases}$$

5. Système à paramètres de type intervalle. Filtre de "Kalman"

- Equation d'état du système

$$x_{k+1} = f(x_k, u_k)$$

$$y_k = g(x_k)$$

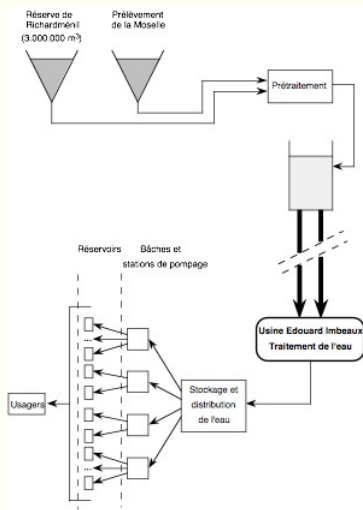
- Filtre intervalle

$$\mathbf{X}_k^p = f(\mathbf{X}_{k-1}, u_{k-1})$$

$$\mathbf{X}_k = \mathbf{X}_k^p \cap g^{-1}(\mathbf{Y}_k)$$

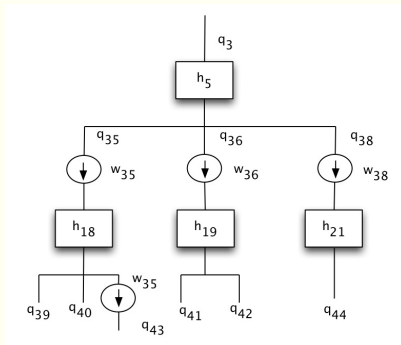
6. Surveillance des réseaux de distribution d'eau

Alimentation d'une ville en eau potable



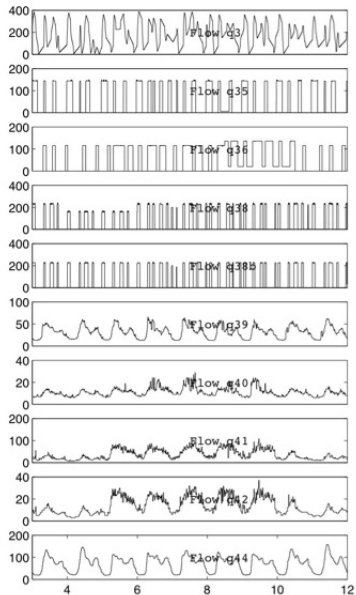
6. Surveillance des réseaux de distribution d'eau

Extrait du réseau



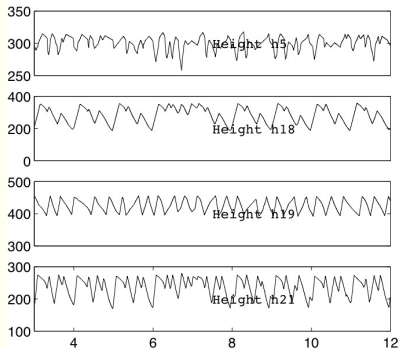
6. Surveillance des réseaux de distribution d'eau

Quelques mesures de débit



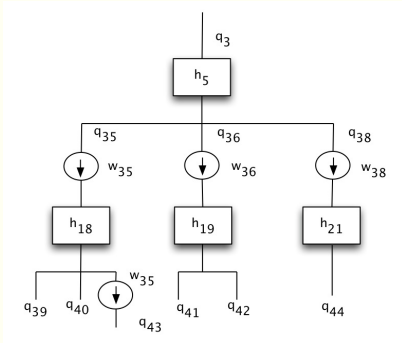
6. Surveillance des réseaux de distribution d'eau

Quelques mesures de hauteur



6. Surveillance des réseaux de distribution d'eau

Extrait du réseau



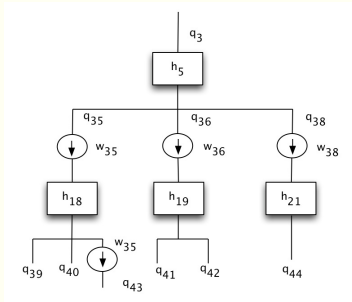
$$S_4 \frac{dh_4(t)}{dt} = q_3(t) - q_{35}(t) - q_{36}(t) - q_{38}(t)$$

$$S_{18} \frac{dh_{18}(t)}{dt} = q_{35}(t) - q_{39}(t) - q_{40}(t)$$

$$S_{19} \frac{dh_{19}(t)}{dt} = q_{36}(t) - q_{41}(t) - q_{42}(t)$$

$$S_{21} \frac{dh_{21}(t)}{dt} = q_{38}(t) - q_{44}(t)$$

6. Surveillance des réseaux de distribution d'eau



- Redondance matérielle

$$q_{35}(k) - q_{38}(k) = 0$$

- Etalonnage pompe

$$q_{35}(k) = w_{a,35}(k)\bar{q}_{a,35} + w_{b,35}(k)\bar{q}_{b,35}$$

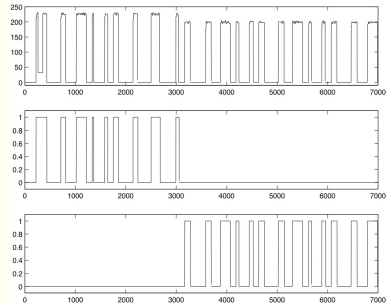


FIG.: Débit $q_{35}(k)$ et temps de marche de pompe $w_{a,35}(k)$ et $w_{b,35}(k)$

6. Surveillance des réseaux de distribution d'eau

- Relation débit-pression

$$q_{44} = -95 \tanh \frac{p_7 - 7000}{800} - 172 \tanh \frac{p_8 - 3500}{800} + 74$$

$$q_{44} = -19p_7 - 1873p_8 + 1.14q_{39} + 0.24q_{42} + 914$$

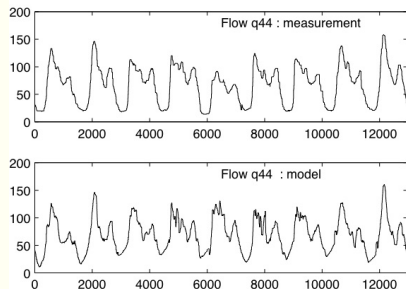
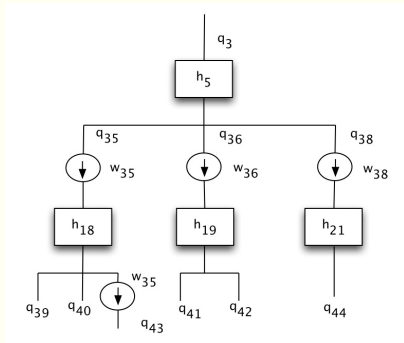


FIG.: Estimation du débit q_{44}

6. Surveillance des réseaux de distribution d'eau

- Relation entre les débits

$$q_{39} = 0.155q_{40} + 0.357q_{44} + 4.774$$

$$q_{40} = 0.134q_{39} + 0.090q_{41} + 3.903$$

$$q_{44} = 2.124q_{39} + 0.592q_{40} - 0.934$$

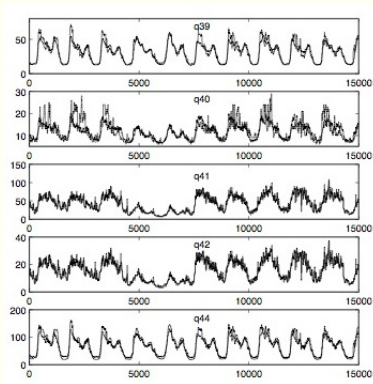
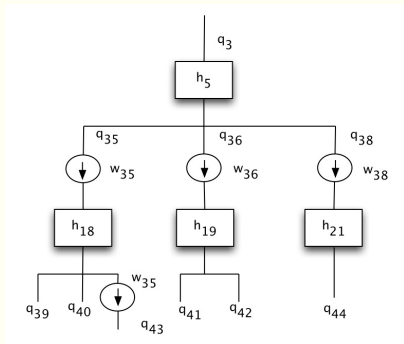


FIG.: Débits mesurés et estimés

6. Surveillance des réseaux de distribution d'eau

- Equations de bilan

$$S_4 \frac{dh_4(t)}{dt} = q_3(t) - q_{35}(t) - q_{36}(t) - q_{38}(t)$$

$$S_{18} \frac{dh_{18}(t)}{dt} = q_{35}(t) - q_{39}(t) - q_{40}(t)$$

$$S_{19} \frac{dh_{19}(t)}{dt} = q_{36}(t) - q_{41}(t) - q_{42}(t)$$

$$S_{21} \frac{dh_{21}(t)}{dt} = q_{38}(t) - q_{44}(t)$$

- Résidus indicateurs de défauts

$$r_1(t) = S_4 \frac{dh_4(t)}{dt} - q_3(t) + q_{35}(t) + q_{36}(t) + q_{38}(t)$$

$$r_2(t) = S_{18} \frac{dh_{18}(t)}{dt} - q_{35}(t) + q_{39}(t) + q_{40}(t)$$

$$r_3(t) = S_{19} \frac{dh_{19}(t)}{dt} - q_{36}(t) + q_{41}(t) + q_{42}(t)$$

$$r_4(t) = S_{21} \frac{dh_{21}(t)}{dt} - q_{38}(t) + q_{44}(t)$$

6. Surveillance des réseaux de distribution d'eau

- Equations de bilan

$$S_4 \frac{dh_4(t)}{dt} = q_3(t) - q_{35}(t) - q_{36}(t) - q_{38}(t)$$

$$S_{18} \frac{dh_{18}(t)}{dt} = q_{35}(t) - q_{39}(t) - q_{40}(t)$$

$$S_{19} \frac{dh_{19}(t)}{dt} = q_{36}(t) - q_{41}(t) - q_{42}(t)$$

$$S_{21} \frac{dh_{21}(t)}{dt} = q_{38}(t) - q_{44}(t)$$

- Résidus indicateurs de défauts

$$r_1(t) = S_4 \frac{dh_4(t)}{dt} - q_3(t) + q_{35}(t) + q_{36}(t) + q_{38}(t)$$

$$r_2(t) = S_{18} \frac{dh_{18}(t)}{dt} - q_{35}(t) + q_{39}(t) + q_{40}(t)$$

$$r_3(t) = S_{19} \frac{dh_{19}(t)}{dt} - q_{36}(t) + q_{41}(t) + q_{42}(t)$$

$$r_4(t) = S_{21} \frac{dh_{21}(t)}{dt} - q_{38}(t) + q_{44}(t)$$

6. Surveillance des réseaux de distribution d'eau

- 5 équations de bilan
- 4 relations état des pompes
- 3 relations entre pressions et débits
- 26 relations entre débits

$$r_1 = f(h_4, q_3, q_{35}, q_{36}, q_{38})$$

$$r_2 = f(h_{18}, q_{35}, q_{39}, q_{40})$$

$$r_3 = f(h_{19}, q_{36}, q_{41}, q_{42})$$

$$r_4 = f(h_{21}, q_{38}, q_{44})$$

$$r_5 = f(q_{38}, q_{38b})$$

$$r_6 = f(q_{35}, w_{a,35}, w_{b,35})$$

$$r_7 = f(q_{36}, w_{a,36}, w_{b,36})$$

$$r_8 = f(q_{38}, w_{a,38}, w_{b,38})$$

$$r_9 = f(q_{38b}, w_{a,38}, w_{b,38})$$

$$r_{10} = f(q_{39}, q_{40}, q_{44})$$

$$r_{11} = f(q_{44}, p_7, p_8, q_{39}, q_{42})$$

$$r_{12} = f(q_{39}, q_{40}, q_{44})$$

$$r_{13} = f(q_{40}, q_{39}, q_{41})$$

$$r_{14} = f(q_{41}, q_{42})$$

6. Surveillance des réseaux de distribution d'eau

- 5 équations de bilan
- 4 relations état des pompes
- 3 relations entre pressions et débits
- 26 relations entre débits

$$r_1 = f(h_4, q_3, q_{35}, q_{36}, q_{38})$$

$$r_2 = f(h_{18}, q_{35}, q_{39}, q_{40})$$

$$r_3 = f(h_{19}, q_{36}, q_{41}, q_{42})$$

$$r_4 = f(h_{21}, q_{38}, q_{44})$$

$$r_5 = f(q_{38}, q_{38b})$$

$$r_6 = f(q_{35}, w_{a,35}, w_{b,35})$$

$$r_7 = f(q_{36}, w_{a,36}, w_{b,36})$$

$$r_8 = f(q_{38}, w_{a,38}, w_{b,38})$$

$$r_9 = f(q_{38b}, w_{a,38}, w_{b,38})$$

$$r_{10} = f(q_{39}, q_{40}, q_{44})$$

$$r_{11} = f(q_{44}, p_7, p_8, q_{39}, q_{42})$$

$$r_{12} = f(q_{39}, q_{40}, q_{44})$$

$$r_{13} = f(q_{40}, q_{39}, q_{41})$$

$$r_{14} = f(q_{41}, q_{42})$$

6. Surveillance des réseaux de distribution d'eau

- 5 équations de bilan
- 4 relations état des pompes
- 3 relations entre pressions et débits
- 26 relations entre débits

$$r_1 = f(h_4, q_3, q_{35}, q_{36}, q_{38})$$

$$r_2 = f(h_{18}, q_{35}, q_{39}, q_{40})$$

$$r_3 = f(h_{19}, q_{36}, q_{41}, q_{42})$$

$$r_4 = f(h_{21}, q_{38}, q_{44})$$

$$r_5 = f(q_{38}, q_{38b})$$

$$r_6 = f(q_{35}, w_{a,35}, w_{b,35})$$

$$r_7 = f(q_{36}, w_{a,36}, w_{b,36})$$

$$r_8 = f(q_{38}, w_{a,38}, w_{b,38})$$

$$r_9 = f(q_{38b}, w_{a,38}, w_{b,38})$$

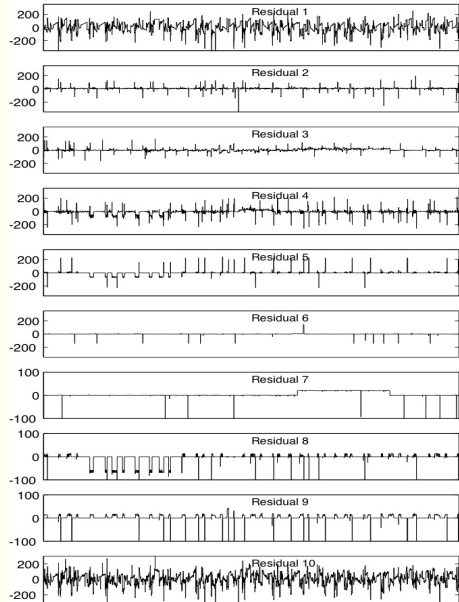
$$r_{10} = f(q_{39}, q_{40}, q_{44})$$

$$r_{11} = f(q_{44}, p_7, p_8, q_{39}, q_{42})$$

$$r_{12} = f(q_{39}, q_{40}, q_{44})$$

$$r_{13} = f(q_{40}, q_{39}, q_{41})$$

$$r_{14} = f(q_{41}, q_{42})$$



6. Surveillance des réseaux de distribution d'eau

	h_4	h_{18}	h_{19}	h_{21}	q_3	q_{35}	q_{36}	q_{38}	q_{38b}	q_{39}	q_{40}	q_{41}	q_{42}	q_{44}	w_{35}	w_{36}	w_{38}	p_7	p_8
1	X	.	.	.	X	X	X	X	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
2	.	X	.	.	.	X	.	.	.	X	X	.	.	.	.	.	.	.	.
3	.	.	X	.	.	.	X	.	.	.	.	X	X	.	.	.	.	.	.
4	.	.	.	X	.	.	.	X	.	.	.	.	.	X	.	.	.	.	.
5	.	.	.	.	.	.	.	X	X	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
6	.	.	.	.	.	X	.	.	.	.	.	.	.	.	X	.	.	.	.
7	.	.	.	.	.	.	X	.	.	.	.	.	.	.	.	X	.	.	.
8	.	.	.	.	.	.	.	X	.	.	.	.	.	.	.	.	X	.	.
9	.	.	.	.	.	.	.	.	X	.	.	.	.	.	.	.	X	.	.
10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	X	X	.	.	X	.	.	.	.	.
11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	X	.	.	.	X	X
12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	X	.	.	X	X	.	.	.	X	X
13	.	.	.	.	.	.	.	.	.	X	X	.	.	X	.	.	.	.	.
14	.	.	.	.	.	.	.	.	.	X	X	X	.	.	.	.	.	.	.
15	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	X	X	.	.	.	.	.	.

TAB.: Occurrences des variables dans les résidus

La table peut être lue en lignes ou en colonnes.

6. Surveillance des réseaux de distribution d'eau

Principe de la détection et l'isolation de défauts

- Phase préalable d'analyse

Défaut $\rightarrow$ Résidus

Par exemple : q_{35} influence les résidus r_1 , r_2 et r_6 .

- Phase de diagnostic

Résidus $\rightarrow$ Défaut

Par exemple si r_3 , r_{14} et r_{15} sont différents de 0, alors q_{41} est en défaut

6. Surveillance des réseaux de distribution d'eau

• Exemple de résidus et de diagnostic

$$r_1(t) = S_4 \dot{h}_4(t) - q_{35}(t) + q_{36}(t) + q_{38}(t)$$

$$r_2(t) = S_{18} \dot{h}_{18}(t) - q_{35}(t) + q_{39}(t) + q_{40}(t)$$

$$r_3(t) = S_{19} \dot{h}_{19}(t) - q_{36}(t) + q_{41}(t) + q_{42}(t)$$

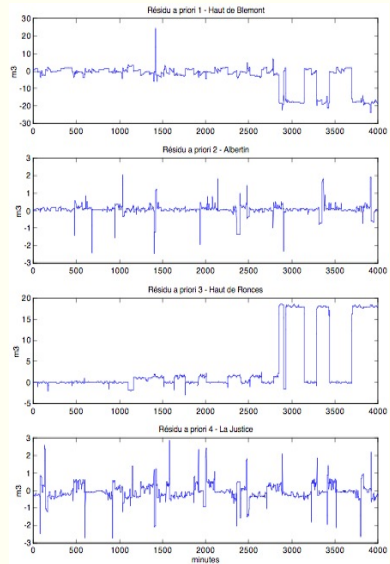
$$r_4(t) = S_{21} \dot{h}_{21}(t) - q_{38}(t) + q_{44}(t)$$

• Influence d'un défaut positif

	h_4	h_{18}	h_{19}	h_{21}	q_3	q_{35}	q_{36}	q_{38}	q_{39}	q_{40}	q_{41}	q_{42}	q_{44}
r_1	p	.	.	.	n	p	p	p	.	.	.	.	.
r_2	.	p	.	.	.	n	.	.	p	p	.	.	.
r_3	.	.	p	.	.	.	n	.	.	.	p	p	.
r_4	.	.	.	p	.	.	.	n	.	.	.	.	p

• Influence d'un défaut négatif

	h_4	h_{18}	h_{19}	h_{21}	q_3	q_{35}	q_{36}	q_{38}	q_{39}	q_{40}	q_{41}	q_{42}	q_{44}
r_1	n	.	.	.	p	n	n	n	.	.	.	.	.
r_2	.	n	.	.	.	p	.	.	n	n	.	.	.
r_3	.	.	n	.	.	.	p	.	.	.	n	n	.
r_4	.	.	.	n	.	.	.	p	.	.	.	.	n



6. Surveillance des réseaux de distribution d'eau

- Exemple de résidus et de diagnostic

$$r_1(t) = S_4 \dot{h}_4(t) - q_{35}(t) + q_{36}(t) + q_{38}(t)$$

$$r_2(t) = S_{18} \dot{h}_{18}(t) - q_{35}(t) + q_{39}(t) + q_{40}(t)$$

$$r_3(t) = S_{19} \dot{h}_{19}(t) - q_{36}(t) + q_{41}(t) + q_{42}(t)$$

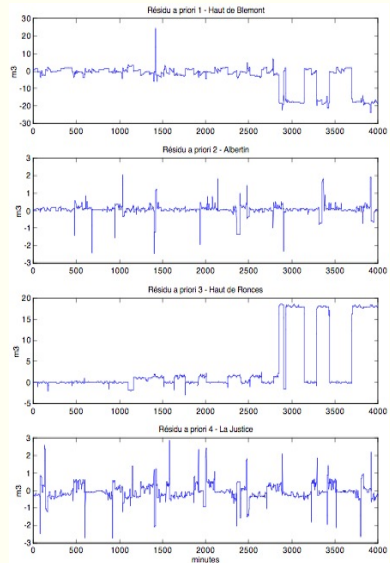
$$r_4(t) = S_{21} \dot{h}_{21}(t) - q_{38}(t) + q_{44}(t)$$

- Influence d'un défaut positif

	h_4	h_{18}	h_{19}	h_{21}	q_3	q_{35}	q_{36}	q_{38}	q_{39}	q_{40}	q_{41}	q_{42}	q_{44}
r_1	p	.	.	.	n	p	p	p	.	.	.	.	.
r_2	.	p	.	.	.	n	.	.	p	p	.	.	.
r_3	.	.	p	.	.	.	n	.	.	.	p	p	.
r_4	.	.	.	p	.	.	.	n	.	.	.	.	p

- Influence d'un défaut négatif

	h_4	h_{18}	h_{19}	h_{21}	q_3	q_{35}	q_{36}	q_{38}	q_{39}	q_{40}	q_{41}	q_{42}	q_{44}
r_1	n	.	.	.	p	n	n	n	.	.	.	.	.
r_2	.	n	.	.	.	p	.	.	n	n	.	.	.
r_3	.	.	n	.	.	.	p	.	.	.	n	n	.
r_4	.	.	.	n	.	.	.	p	.	.	.	.	n



6. Surveillance des réseaux de distribution d'eau

- Exemple de résidus et de diagnostic

$$r_1(t) = S_4 \dot{h}_4(t) - q_3(t) + q_{35}(t) + q_{36}(t) + q_{38}(t)$$

$$r_2(t) = S_{18} \dot{h}_{18}(t) - q_{35}(t) + q_{39}(t) + q_{40}(t)$$

$$r_3(t) = S_{19} \dot{h}_{19}(t) - q_{36}(t) + q_{41}(t) + q_{42}(t)$$

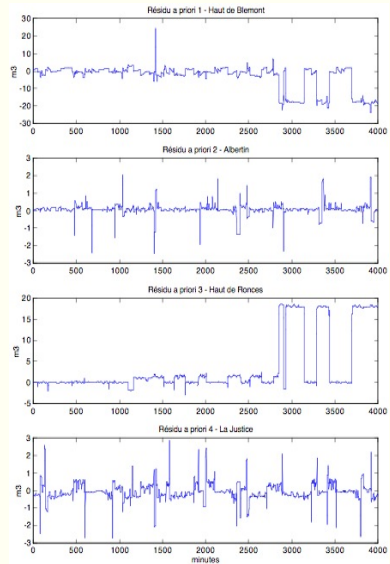
$$r_4(t) = S_{21} \dot{h}_{21}(t) - q_{38}(t) + q_{44}(t)$$

- Influence d'un défaut positif

	h_4	h_{18}	h_{19}	h_{21}	q_3	q_{35}	q_{36}	q_{38}	q_{39}	q_{40}	q_{41}	q_{42}	q_{44}
r_1	p	.	.	.	n	p	p	p	.	.	.	.	.
r_2	.	p	.	.	.	n	.	.	p	p	.	.	.
r_3	.	.	p	.	.	.	n	.	.	.	p	p	.
r_4	.	.	.	p	.	.	.	n	.	.	.	.	p

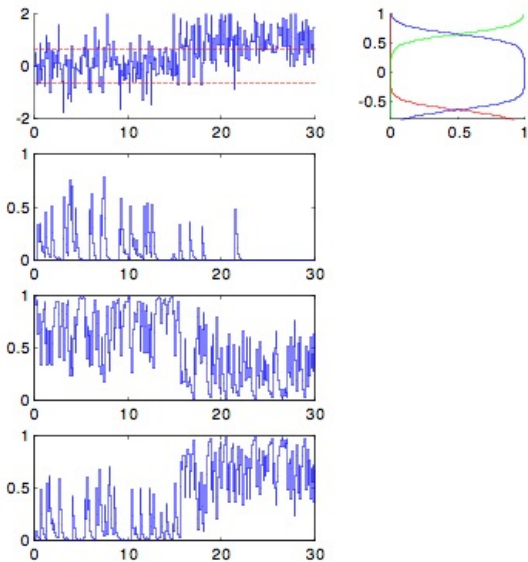
- Influence d'un défaut négatif

	h_4	h_{18}	h_{19}	h_{21}	q_3	q_{35}	q_{36}	q_{38}	q_{39}	q_{40}	q_{41}	q_{42}	q_{44}
r_1	n	.	.	.	p	n	n	n	.	.	.	.	.
r_2	.	n	.	.	.	p	.	.	n	n	.	.	.
r_3	.	.	n	.	.	.	p	.	.	.	n	n	.
r_4	.	.	.	n	.	.	.	p	.	.	.	.	n



6. Surveillance des réseaux de distribution d'eau.

Fuzzification des résidus



6. Surveillance des réseaux de distribution d'eau.

Approche floue de la détection de défauts

	h_4	h_{18}	h_{19}	h_{21}	q_3	q_{35}	q_{36}	q_{38}	q_{39}	q_{40}	q_{41}	q_{42}	q_{44}
r_1	p	.	.	.	n	p	p	p	.	.	.	.	.
r_2	.	p	.	.	.	n	.	.	p	p	.	.	.
r_3	.	.	p	.	.	.	n	.	.	.	p	p	.
r_4	.	.	.	p	.	.	.	n	.	.	.	.	p

- Règles « nettes » de détection

Si défaut $\Delta q_3 > 0$ alors	$r_1 < 0$ et $r_2 = 0$ et $r_3 = 0$ et $r_4 = 0$
Si défaut $\Delta q_{36} > 0$ alors	$r_1 < 0$ et $r_2 = 0$ et $r_3 > 0$ et $r_4 = 0$

- Règles « floues » de détection

Si défaut $\Delta q_3 > 0$ alors	$r_1 \in \mathcal{N}$ et $r_2 \in \mathcal{Z}$ et $r_3 \in \mathcal{Z}$ et $r_4 \in \mathcal{Z}$
Si défaut $\Delta q_{36} > 0$ alors	$r_1 \in \mathcal{N}$ et $r_2 \in \mathcal{Z}$ et $r_3 \in \mathcal{P}$ et $r_4 \in \mathcal{Z}$

- Poids d'un diagnostic

$$\mu_{\Delta q_3}^+ = f(\mu_{r_1}^-, \mu_{r_2}^0, \mu_{r_3}^0, \mu_{r_4}^0)$$

$$\mu_{\Delta q_3}^+ = \mu_{r_1}^- \cdot \mu_{r_2}^0 \cdot \mu_{r_3}^0 \cdot \mu_{r_4}^0$$

6. Surveillance des réseaux de distribution d'eau

Correspondance symptômes / défauts

	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	...
$\Delta q_3 < 0$	P	Z	Z	Z	.		
$\Delta q_3 > 0$	N	Z	Z	Z	.		
$\Delta q_{35} < 0$	N	P	Z	Z	.		
$\Delta q_{35} > 0$	P	N	Z	Z	.		
$\Delta q_{36} < 0$	N	Z	P	Z	.		
$\Delta q_{36} > 0$	P	Z	N	Z	.		
$\Delta q_{38} < 0$	N	Z	Z	P	.		
$\Delta q_{38} > 0$	P	Z	Z	N	.		

6. Surveillance des réseaux de distribution d'eau

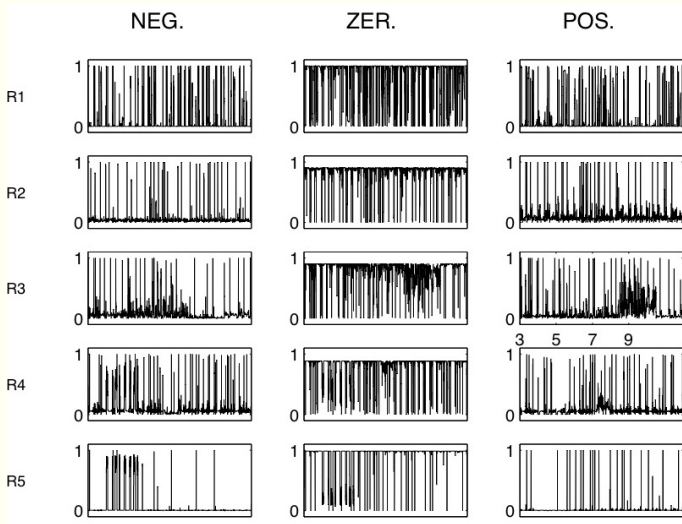


FIG.: Modalités des résidus r_1 à r_5

6. Surveillance des réseaux de distribution d'eau

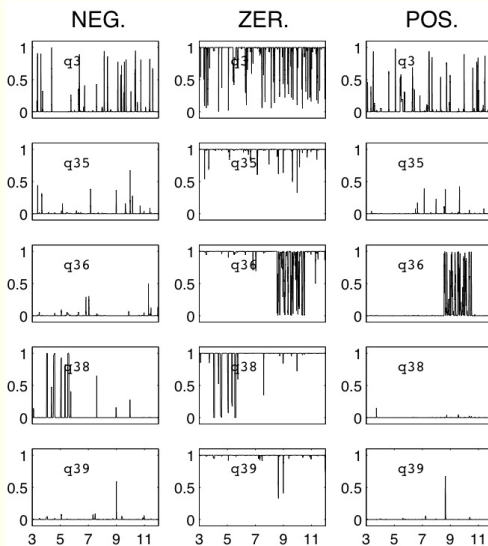


FIG.: Vraisemblance des hypothèses de défaut Δq_3^- , Δq_3^+ , Δq_{35}^- , Δq_{35}^+ , Δq_{36}^- , Δq_{36}^+ , Δq_{38}^- , Δq_{38}^+ , Δq_{39}^- et Δq_{39}^+ sans prise en compte du taux de sensibilité des résidus

6. Surveillance des réseaux de distribution d'eau

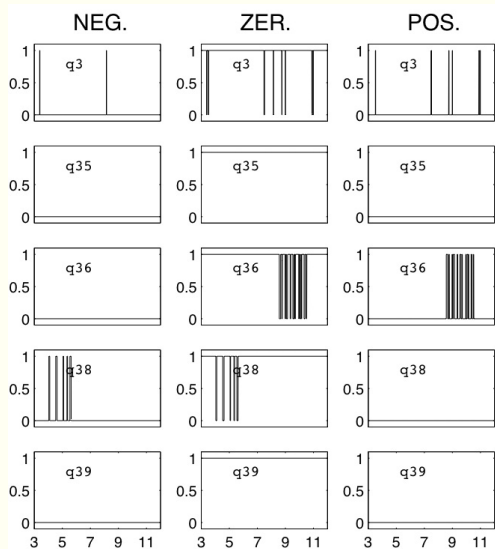
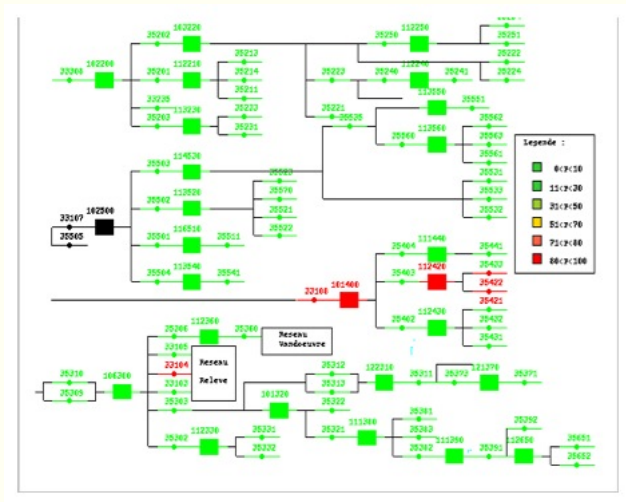


FIG.: Vraisemblance des hypothèses de défaut Δq_3^- , Δq_3^+ , Δq_{35}^- , Δq_{35}^+ , Δq_{36}^- , Δq_{36}^+ , Δq_{38}^- , Δq_{38}^+ , Δq_{39}^- et Δq_{39}^+ avec prise en compte du taux de sensibilité des résidus

6. Surveillance des réseaux de distribution d'eau



7. Conclusion. Surveillance des systèmes

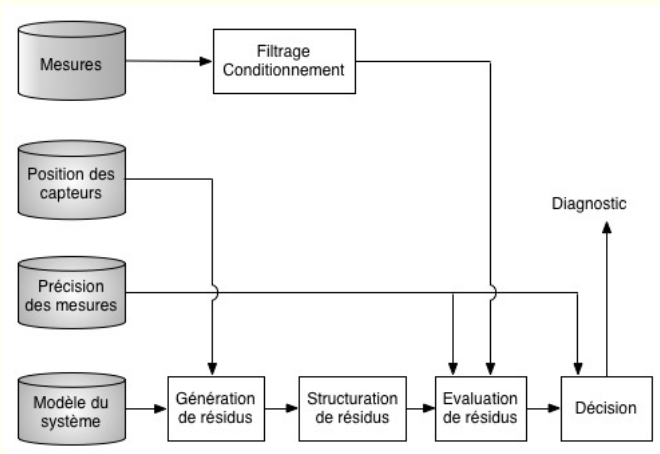


FIG.: Procédure générale de diagnostic

7. Conclusion. Surveillance des Systèmes.

Conclusion : de la théorie à la pratique, les difficultés

- ▶ Mesures partielles et imprécises
- ▶ Positionnement des capteurs
- ▶ Modèles imprécis
- ▶ Processus non stationnaires

Un concept important : diagnostic garanti

- ▶ Ce qui est important : donner des garanties.
- ▶ En matière de diagnostic, il est préférable de dire

$$10 \leq \textit{Ouverture de vanne} \leq 30$$

- ▶ plutôt que $\textit{Ouverture de vanne} = 20$ est laisser croire qu'il s'agit d'une information précise

Quelques pistes de recherche

- ▶ La décision dans l'incertain
- ▶ Le diagnostic sans modèle a priori

7. Conclusion. Surveillance des Systèmes.

Conclusion : de la théorie à la pratique, les difficultés

- ▶ Mesures partielles et imprécises
- ▶ Positionnement des capteurs
- ▶ Modèles imprécis
- ▶ Processus non stationnaires

Un concept important : diagnostic garanti

- ▶ Ce qui est important : donner des garanties.
- ▶ En matière de diagnostic, il est préférable de dire

$$10 \leq \textit{Ouverture de vanne} \leq 30$$

- ▶ plutôt que $\textit{Ouverture de vanne} = 20$ est laisser croire qu'il s'agit d'une information précise

Quelques pistes de recherche

- ▶ La décision dans l'incertain
- ▶ Le diagnostic sans modèle a priori

7. Conclusion. Surveillance des Systèmes.

Conclusion : de la théorie à la pratique, les difficultés

- ▶ Mesures partielles et imprécises
- ▶ Positionnement des capteurs
- ▶ Modèles imprécis
- ▶ Processus non stationnaires

Un concept important : diagnostic garanti

- ▶ Ce qui est important : donner des garanties.
- ▶ En matière de diagnostic, il est préférable de dire

$$10 \leq \textit{Ouverture de vanne} \leq 30$$

- ▶ plutôt que $\textit{Ouverture de vanne} = 20$ est laisser croire qu'il s'agit d'une information précise

Quelques pistes de recherche

- ▶ La décision dans l'incertain
- ▶ Le diagnostic sans modèle a priori