

Groupe – Technologie

Une force d'innovation

Étude de la fiabilité des appareils électriques dans un contexte de gestion des actifs

Présentation faite au groupe de travail FIMA

Jean-François Boudreau
Grenoble, 19 novembre 2012



Plan

- > Présentation Hydro-Québec
- > Gestion des actifs et fiabilité chez Hydro-Québec TransÉnergie
- > Quelques éléments de fiabilité
- > Suivi des appareils
- > Exemples
- > Conclusions et perspectives

Présentation Hydro-Québec



23 000 employés
Produits 12 G\$
Bénéfice net 3 G\$

 **Hydro Québec**
Production



98 % origine hydraulique
37 GW de puissance à la pointe

 **Hydro Québec**
TransÉnergie



33 244 km de lignes de transport

 **Hydro Québec**
Distribution



4 M clients
111 205 km de lignes

 **Hydro Québec**
Équipement et services partagés



Carnet de commandes : 18 G\$

Présentation Hydro-Québec

Développement du réseau de transport en phase avec les grands projets de production

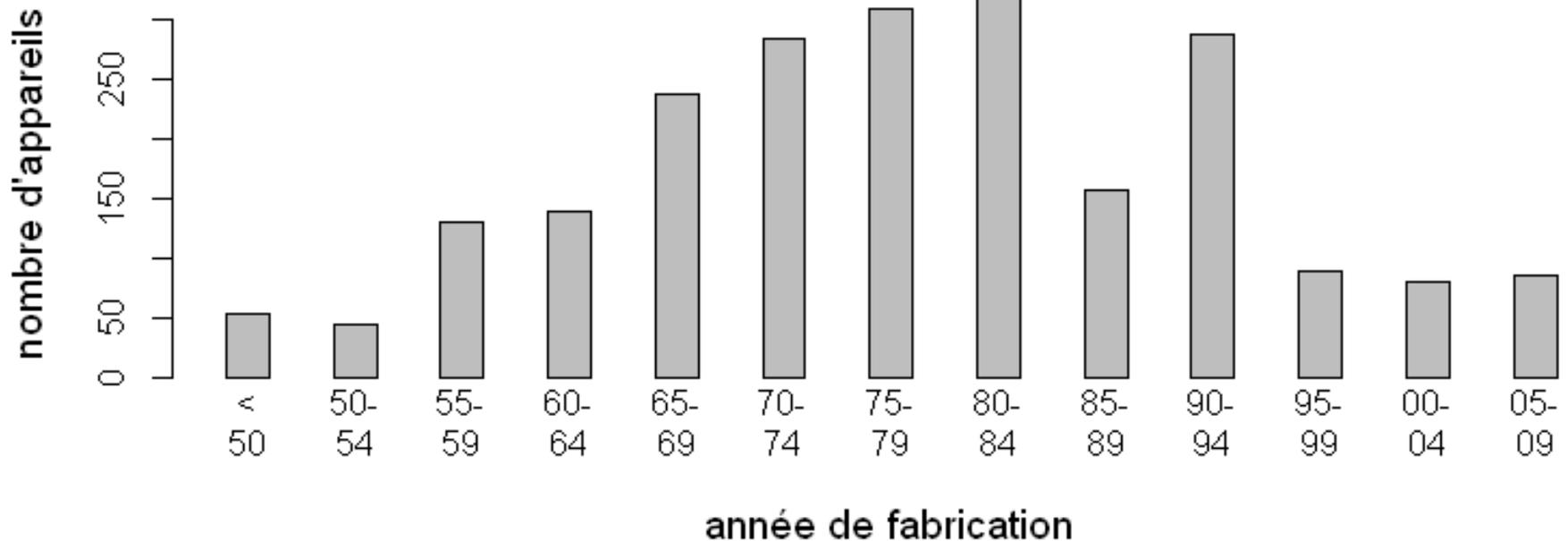
- Manic-Outardes (mise en service dès 1965)
 - Barrage Daniel-Johnson
 - Développement des lignes à 735kV
- Churchill Falls (MES dès 1971)
 - HQ achète l'électricité depuis (jusqu'en 2041)
- La Grande Rivière (MES dès 1979)

Plan

- > Présentation Hydro-Québec
- > Gestion des actifs et fiabilité chez Hydro-Québec TransÉnergie
- > Quelques éléments de fiabilité
- > Suivi des appareils
- > Exemples
- > Conclusions et perspectives

Gestion des actifs TransÉnergie – Contexte

Transformateurs et inductances shunt en service



Gestion des actifs TransÉnergie – Exemples

- > Classer les appareils
- > Comparer des projets de remplacements
- > Comparer des scénarios de pérennité (pour organisme régulateur)
- > Dimensionner les réserves
- > Déterminer l'espérance de vie

Gestion des actifs TransÉnergie – Besoin

Estimation du risque (probabilité*impact)

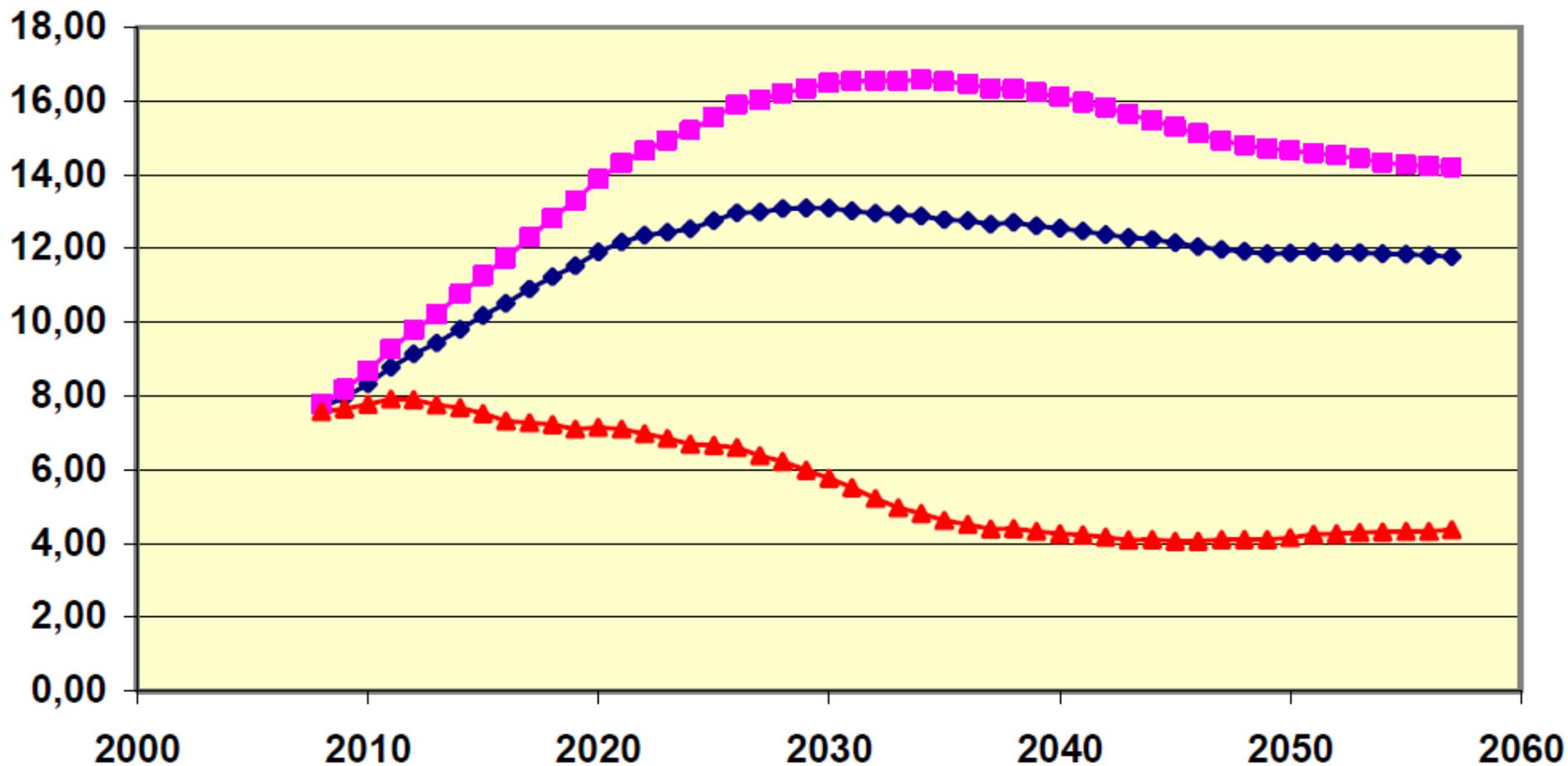
- Probabilité de mise au rebut
- Impact sur
 - le réseau et la clientèle
 - le fonctionnement du poste
 - la sécurité du public ou du personnel
 - l'environnement
 - les coûts collatéraux

Gestion des actifs TransÉnergie – Matrice de risque

		Probabilité									Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Impact	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	4	10	4	17	4	0	11	0	1	51
	7	152	311	47	106	76	51	100	27	25	895
	6	710	1349	111	248	140	115	168	201	50	3092
	5	675	1835	106	93	138	118	157	118	86	3326
	4	256	620	10	14	52	43	50	14	12	1071
	3	0	0	0	1	0	1	0	0	0	2
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	1797	4125	278	479	410	328	486	360	174	8437	

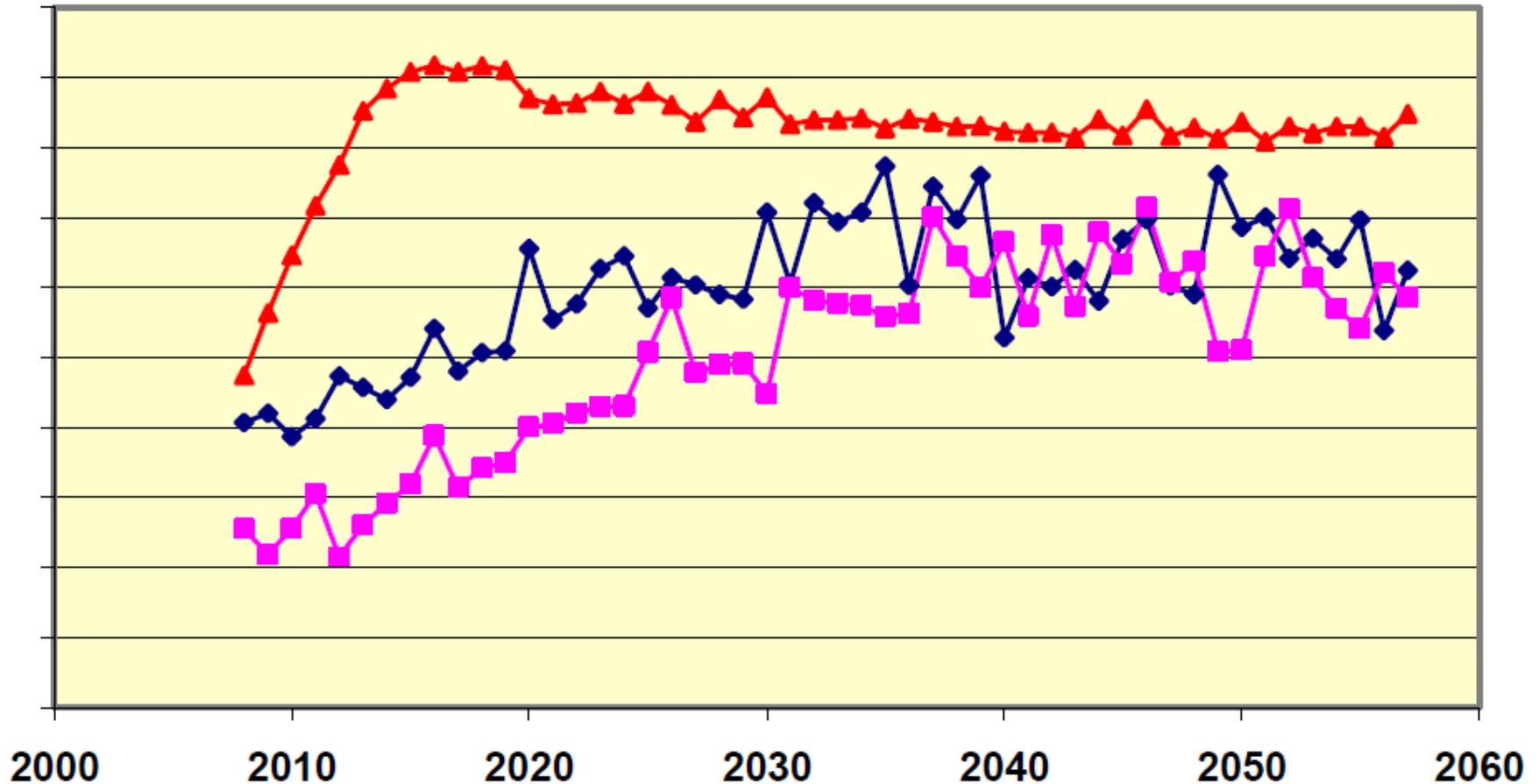
Gestion des actifs TransÉnergie – Comparaison de scénarios

Évolution prévue du taux de risque



Gestion des actifs TransÉnergie – Comparaison de scénarios

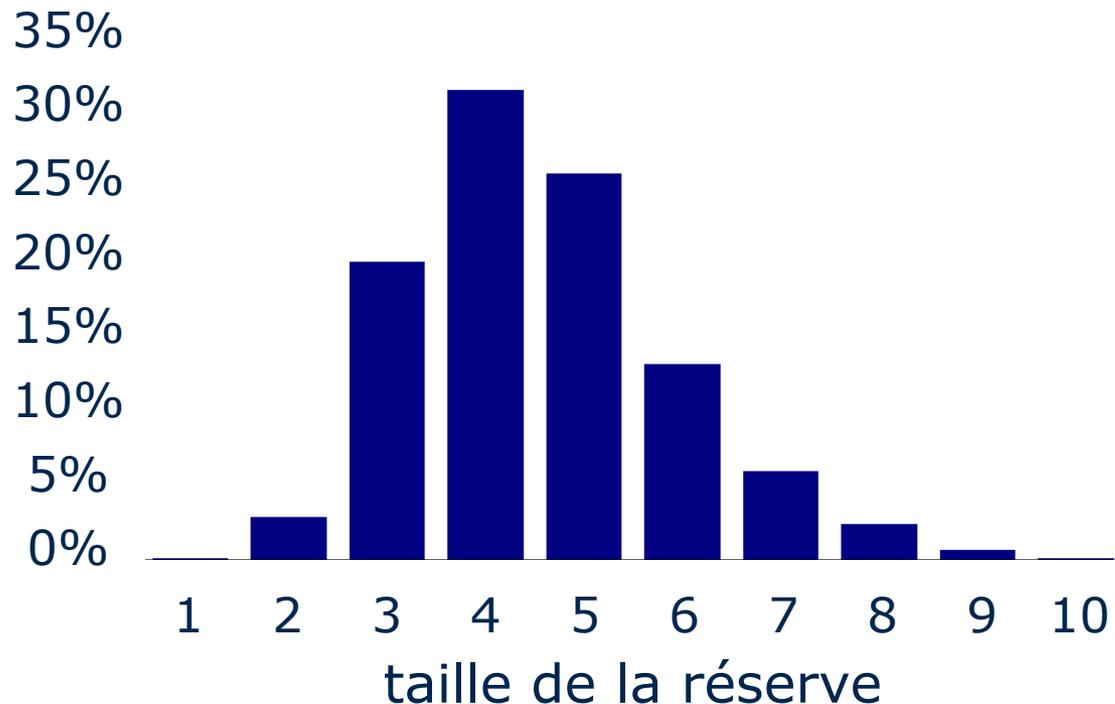
Évolution prévue des coûts par année en k\$ constants 2007



Gestion des actifs TransÉnergie – Réerves

1000 générations d'une situation possible

Taille de la réserve nécessaire

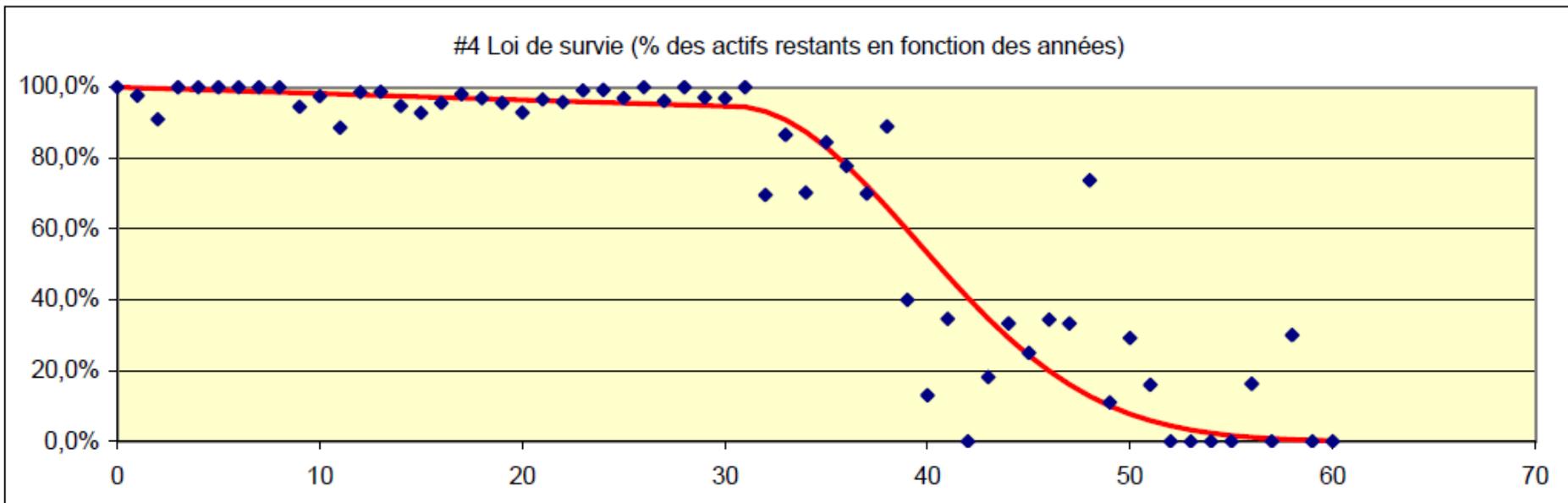


Fiabilité chez TransÉnergie

> « Mise en service vs. Parc actuel »

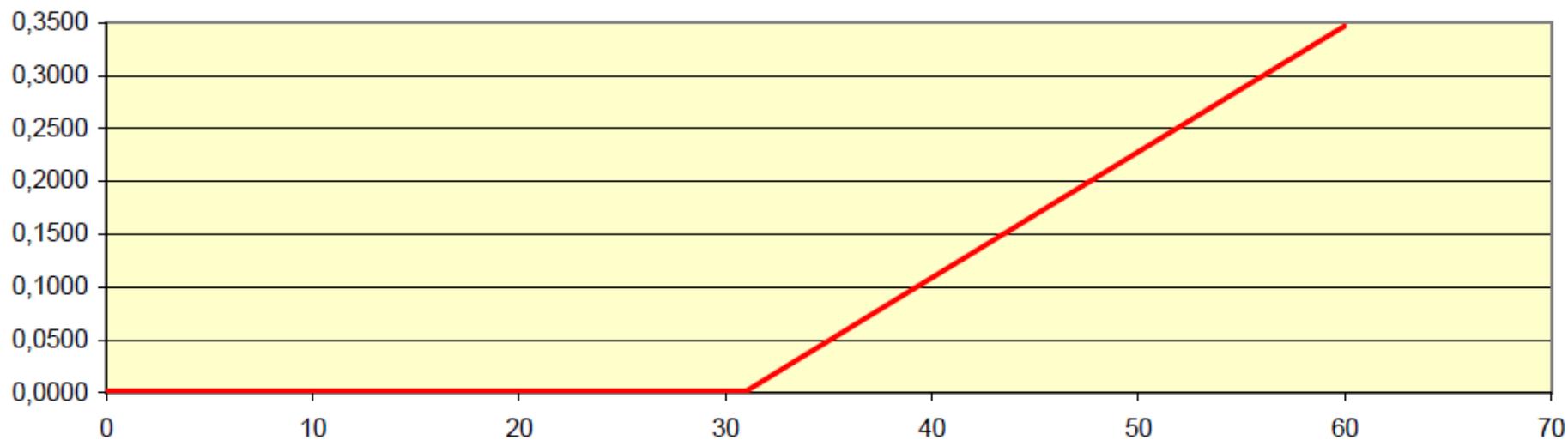
- Fiabilité x années après la mise en service: % des appareils mis en service il y a x années qui ne sont pas rebut au moment de l'analyse
- Ajustement d'une courbe aux points estimés

Fiabilité chez TransÉnergie



Fiabilité chez TransÉnergie

#5 Courbe (en baignoire) du taux de défaillance en fonction des années



Fiabilité chez TransÉnergie

> Avantage important

- Pas besoin des dates des événements (rebut)

> Problématiques

- Fiabilité x années après la mise en service déterminée qu'à l'aide des appareils de la cohorte mise en service il y a x années
- Ajustement manuel des données
- Pas de lien possible avec prédicteurs (autre que de faire plusieurs groupes)
- Pas d'intervalles de confiance

Fiabilité chez TransÉnergie

- > La connaissance du moment approximatif des événements permet l'utilisation de méthodes reconnues en fiabilité
- > En particulier, des prédicteurs peuvent être utilisés
 - Famille/modèle/catégorie
 - Technologie
 - Tension
 - Type d'utilisation
 - Nombre de manœuvres

Plan

- > Présentation Hydro-Québec
- > Gestion des actifs et fiabilité chez Hydro-Québec TransÉnergie
- > Quelques éléments de fiabilité
- > Suivi des appareils
- > Exemples
- > Conclusions et perspectives

Quelques éléments de fiabilité – 3 fonctions de base

T : variable aléatoire du temps avant un évé.

> $f(t)$: fonction de densité de T

> $S(t)$: fonction de fiabilité de T

$$S(t) = \Pr(T > t) = \int_t^{\infty} f(x) dx$$

> $h(t)$: taux de défaillance de T (*hazard*)

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Pr[t \leq T < t + \Delta t \mid T \geq t]}{\Delta t}$$

Quelques éléments de fiabilité – Autres fonctions d'intérêt

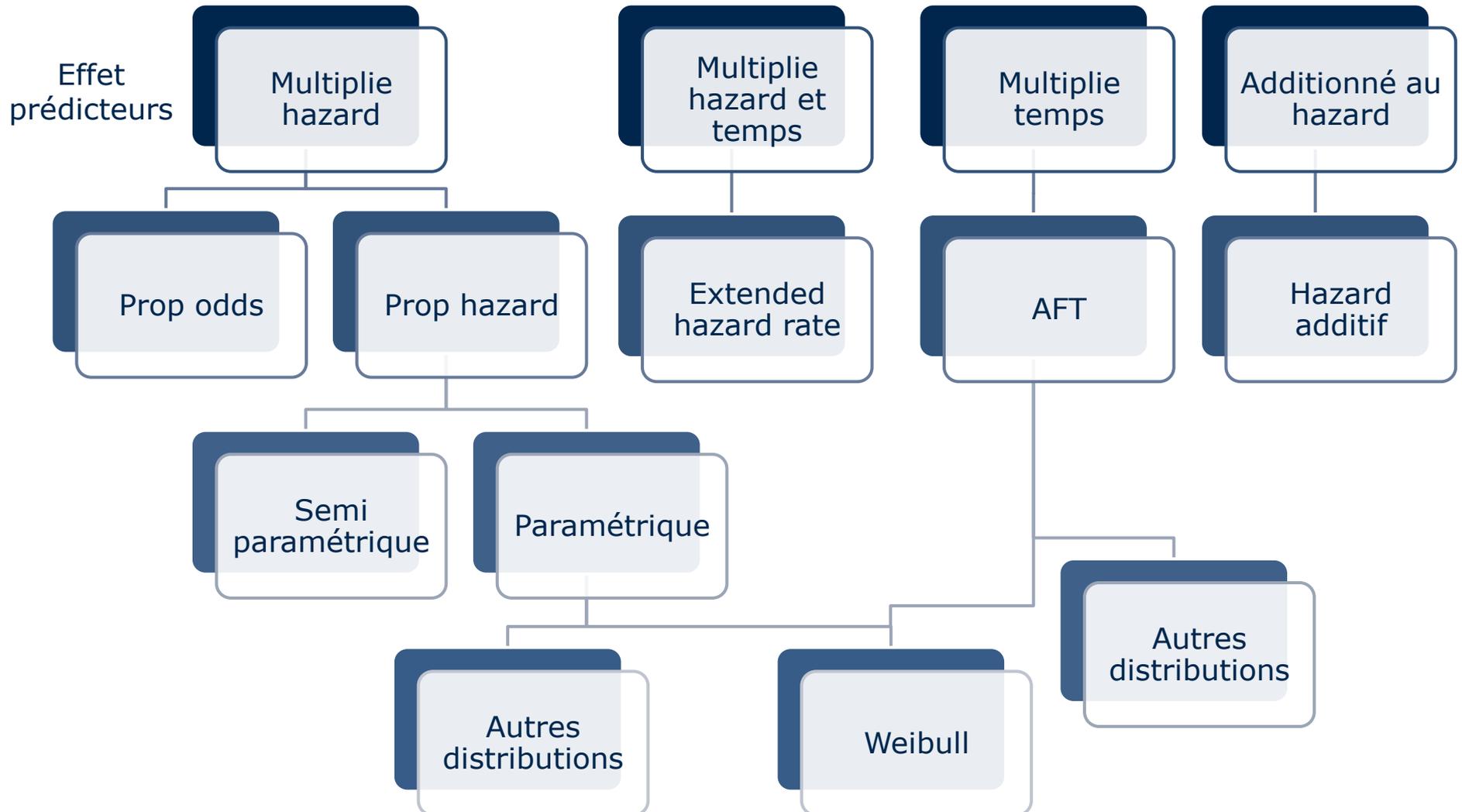
- > Espérance de vie restante (*mean residual life*)

$$\text{mrl}(t) = E(T - t | T > t) = \int_t^{\infty} S(x) dx / S(t)$$

- > Fiabilité conditionnelle (*mission reliability*)

$$\begin{aligned} R(\tau|t) &= \Pr(T > t + \tau | T > t) \\ &= \frac{\Pr(T > t + \tau \cap T > t)}{\Pr(T > t)} \\ &= \frac{S(t + \tau)}{S(t)} \end{aligned}$$

Quelques éléments de fiabilité – Populations non homogènes



Quelques éléments de fiabilité – Modèle du temps accéléré (AFT)

$$\ln(T) = \mu + \beta z + \sigma W$$

où T est la variable aléatoire (VA) de l'âge au moment de l'événement

z sont les prédicteurs

W est la VA modélisant l'erreur

Si W suit une distribution des valeurs extrêmes, alors T suit une distribution de Weibull

Quelques éléments de fiabilité – Modèle du temps accéléré (AFT)

- > Décrit la vitesse à laquelle les appareils progressent sur l'axe du temps

$$\begin{aligned}S_z(t) &= \Pr[T > t | z] \\ &= \Pr[\ln(T) > \ln(t) | z] \\ &= \Pr[\mu + \beta z + \sigma W > \ln(t) | z] \\ &= \Pr[\exp(\mu + \sigma W) > t \exp(-\beta z) | z] \\ &= S_{z=0}(t \exp(-\beta z))\end{aligned}$$

- > Le facteur $\exp(-\beta z)$ accélère ou ralentit donc le temps

Plan

- > Présentation Hydro-Québec
- > Gestion des actifs et fiabilité chez Hydro-Québec TransÉnergie
- > Quelques éléments de fiabilité
- > **Suivi des appareils**
- > Exemples
- > Conclusions et perspectives

Suivi des appareils

- > Début à la date de mise en service (ou de fabrication)
- > Fin
 - Appareils actifs: censure à droite au moment de l'analyse
 - Appareils rebut: événement à la date de la mise au rebut

Suivi des appareils

- > Causes de mise au rebut
 1. Défaillance majeure
 2. Retrait préventif
 3. Croissance
- > 3 causes confondues: on modélise aussi la gestion
- > Pour modéliser les défaillances majeures, on ne peut pas simplement ignorer les 2 autres causes

... biais



Suivi des appareils – Estimation date mise au rebut

- > Outil de gestion opérationnelle de la maintenance
 - Utilisé chez Hydro-Québec TransÉnergie (HQ TÉ) et Production pour la **maintenance**
 - Utilisé chez HQ TÉ depuis 2001, mais données antérieures ont été transférées
- > Étude du vieillissement de l'appareillage
- > Événements réseaux de transport
- > Schémas de postes

Suivi des appareils – Estimation date mise au rebut

1. Bons de travaux... voir si description contient “démantèlement” ou autre
2. Historique des déplacements... voir si déplacement vers emplacement rebut
3. Dernier emplacement opérationnel... voir date de mise en service de l’appareil présentement en service à cet emplacement
4. Date de la dernière modification du statut (en service, rebut...)

Plan

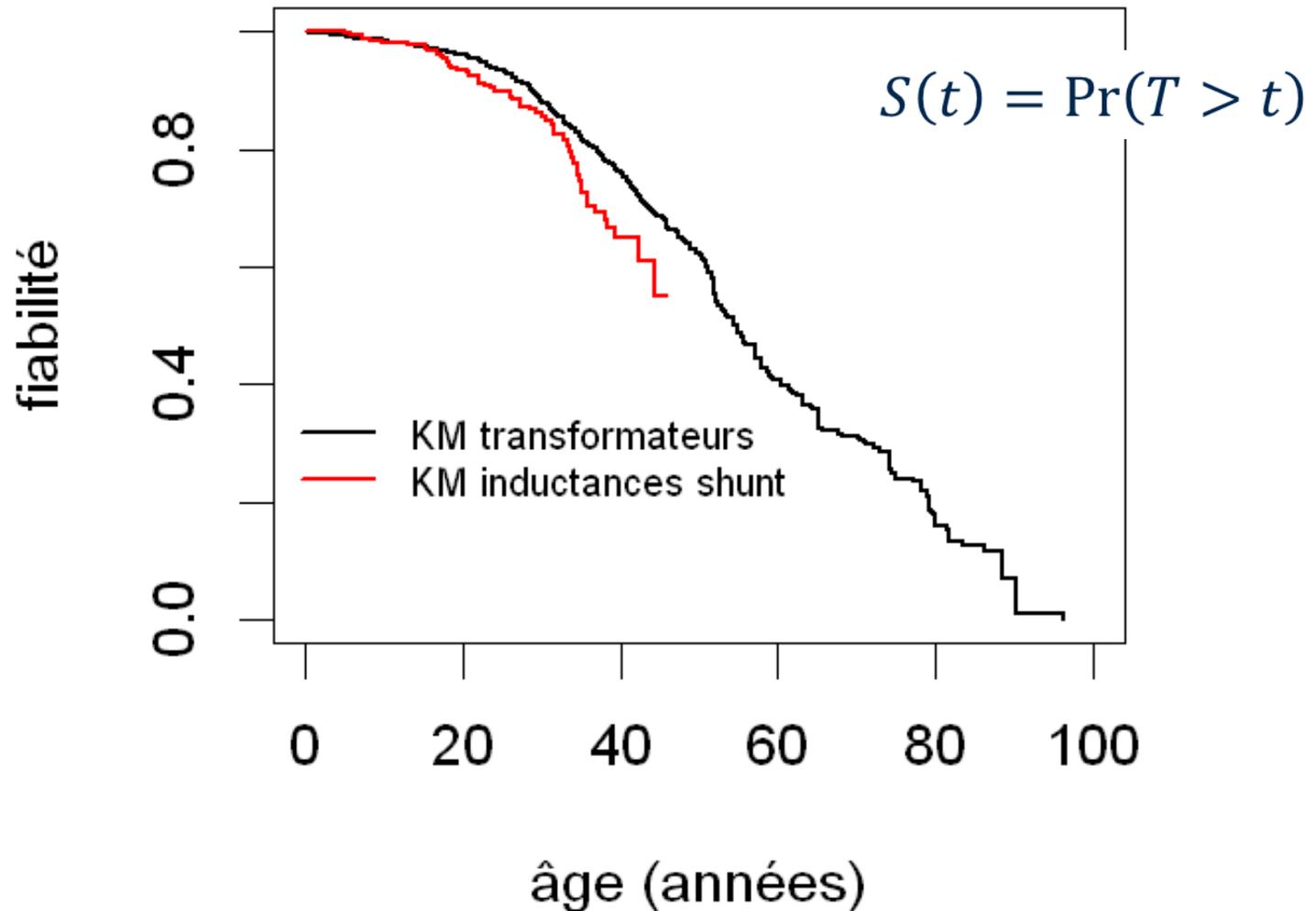
- > Présentation Hydro-Québec
- > Gestion des actifs et fiabilité chez Hydro-Québec TransÉnergie
- > Quelques éléments de fiabilité
- > Suivi des appareils
- > Exemples
- > Conclusions et perspectives

Exemple transformateurs

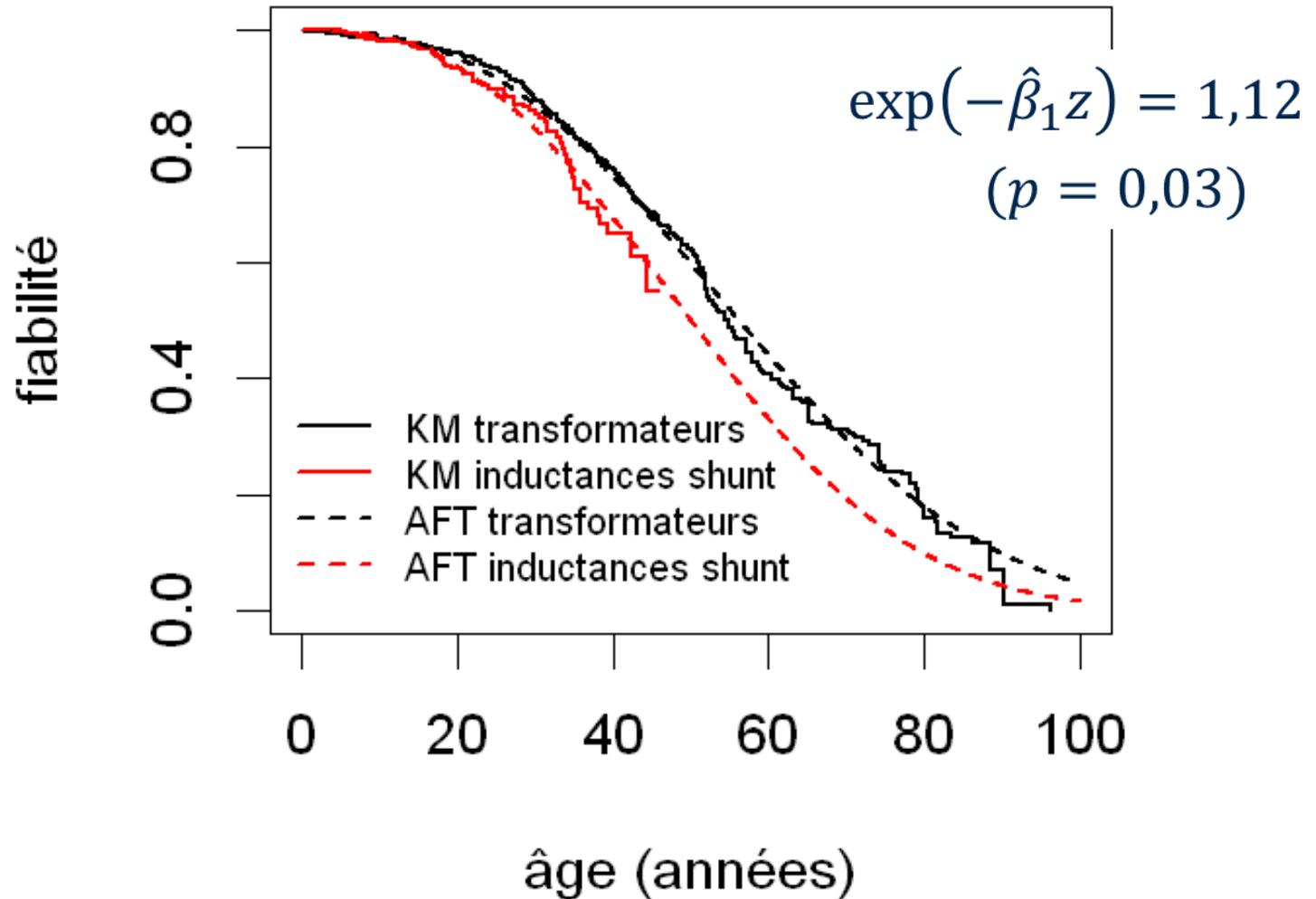
Transformateurs et inductances shunt

- Tension primaire ≥ 44 kV
- Tension secondaire > 4 kV
- Puissance ≥ 5 MVA
- 3016 appareils incluant 840 rebuts

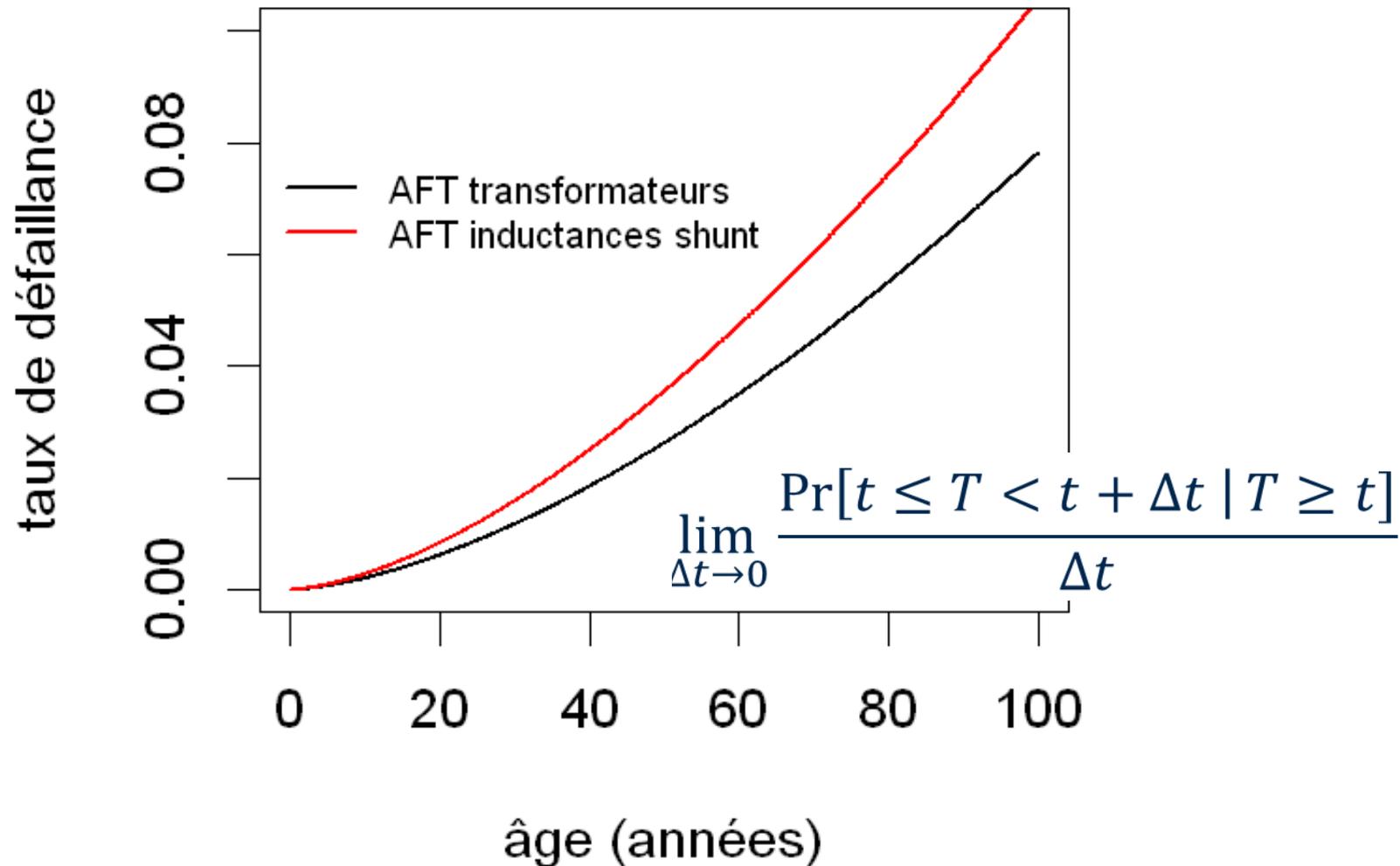
Exemple transformateurs – Kaplan-Meier



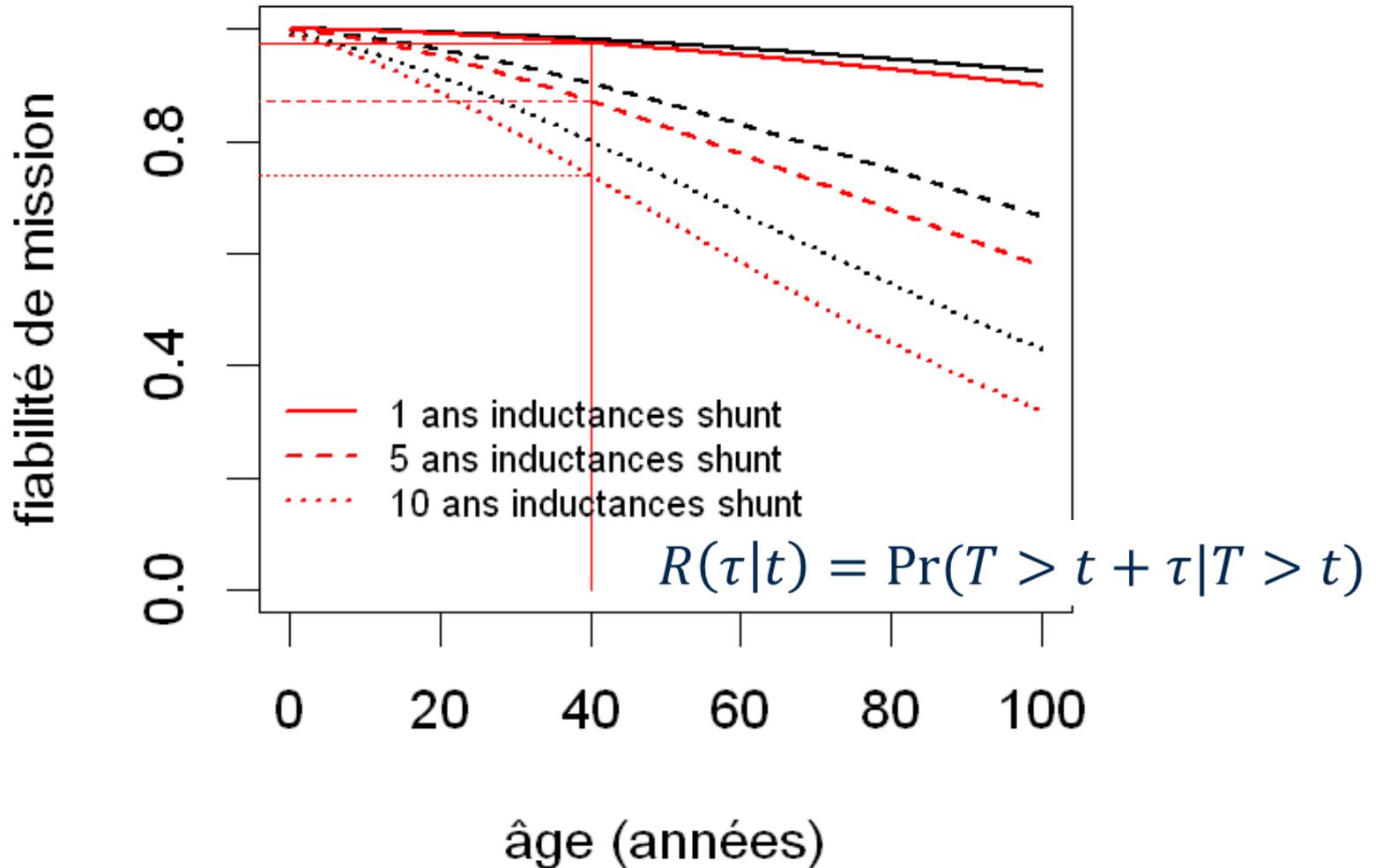
Exemple transformateurs – Kaplan-Meier et AFT



Exemple transformateurs – AFT



Exemple transformateurs – AFT



Exemple disjoncteurs

Disjoncteurs

- Petit volume d'huile
- Toutes tensions
- 1024 appareils incluant 120 rebuts

Exemple disjoncteurs

Modèle retenu

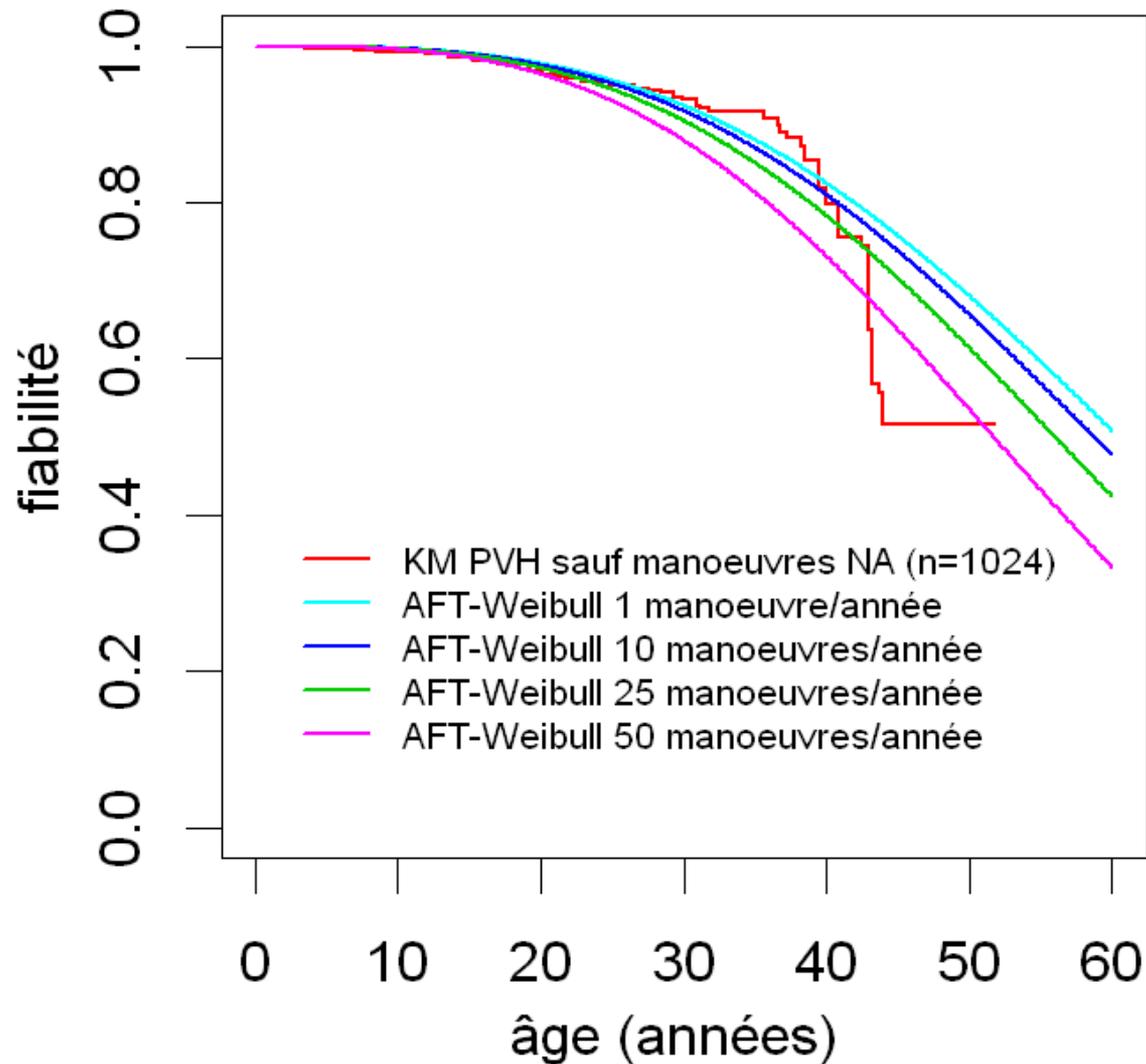
- *AFT-Weibull* avec
 - nb manœuvres moyen annuel
 - demandes d'intervention (DI)
 - avis de maintenance (AM)
- Estimation de l'effet du nombre de manœuvres
- DI et AM dans le temps pas disponibles
 - Utilisation avis experts sur effet relatif DI et AM (pas sur valeur absolue de l'effet)

Exemple disjoncteurs

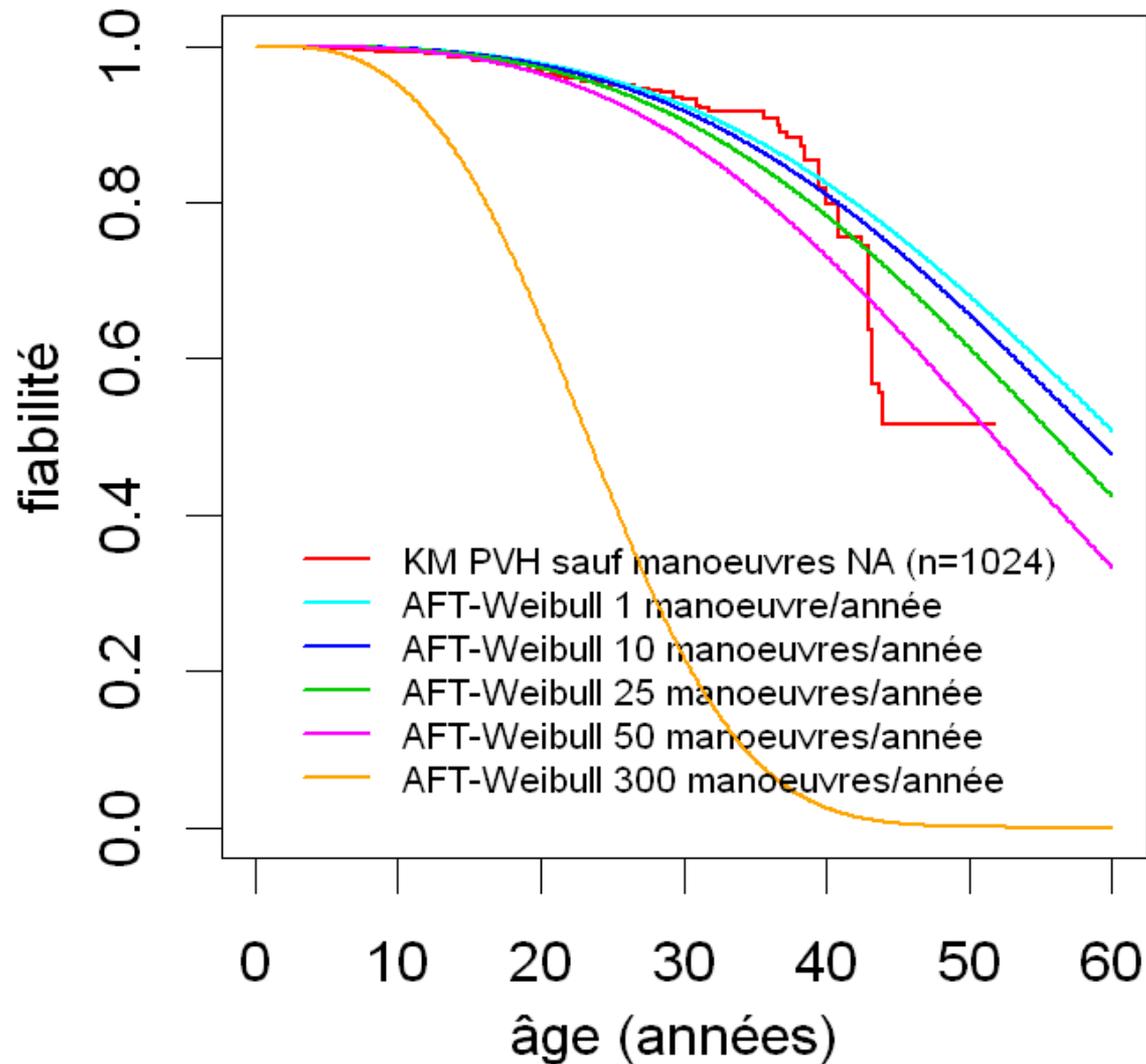
Estimation de l'effet du nombre de manœuvres

- $\hat{\beta} = -0,00319$
- $\exp(25 * 0,00319) = 1,083$
- Le temps passe donc 8,3% plus vite si le nombre de manœuvres annuel augmente de 25

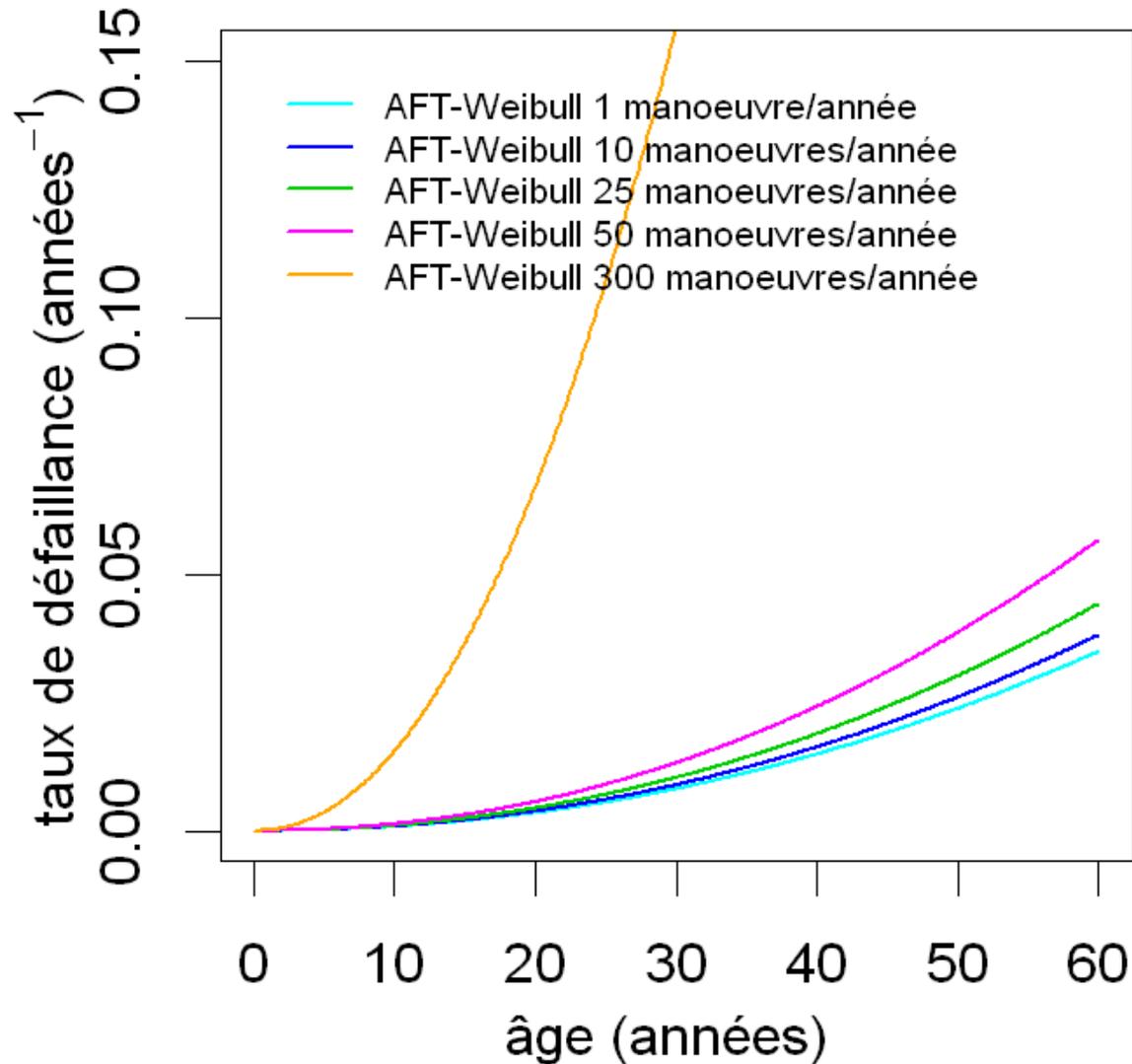
Exemple disjoncteurs



Exemple disjoncteurs



Exemple disjoncteurs

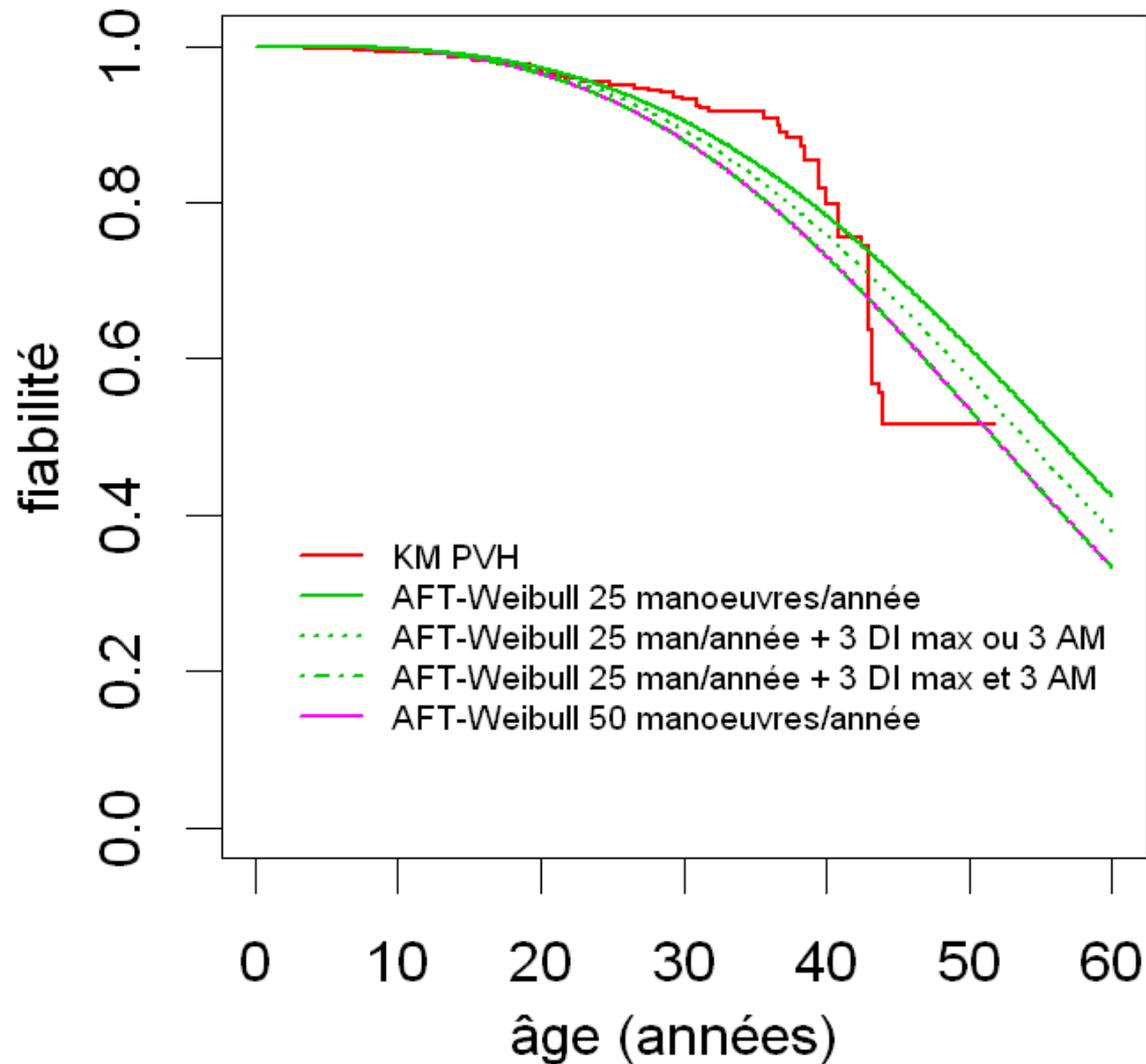


Exemple disjoncteurs

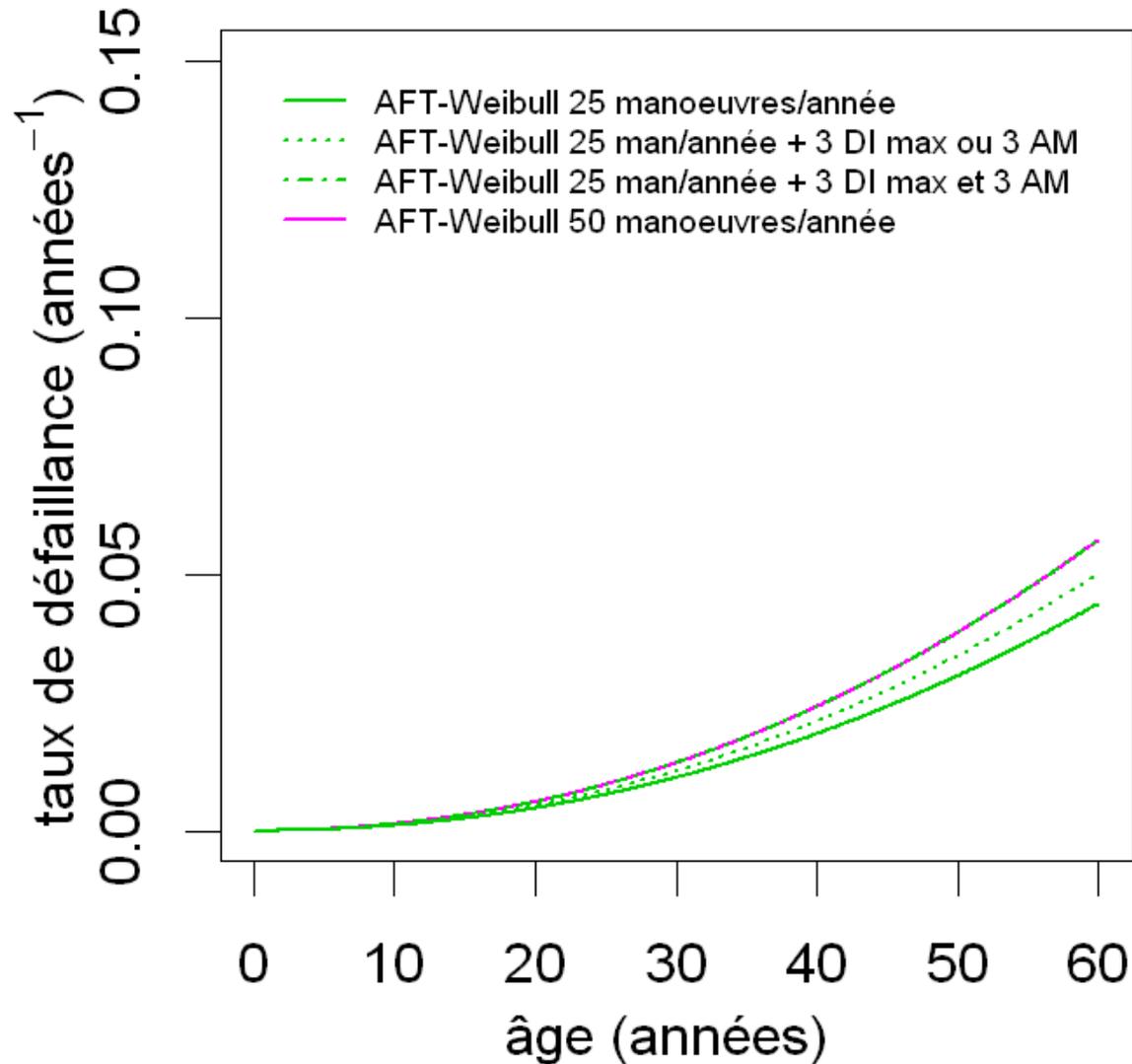
Avis des experts

- Effet relatif DI accessoires=1
- Effet relatif DI commande=4
- Effet relatif DI partie active=5
- Idem pour AM
- On suppose que l'effet des 3 DI et 3 AM est équivalent à 25 manœuvres de plus par année

Exemple disjoncteurs



Exemple disjoncteurs



Exemple disjoncteurs

> Avantages

- Estimation fiable de la courbe de base et de l'effet du nb manœuvres
- Approche mimant l'estimation statistique des paramètres de DI et AM
- Autres prédicteurs peuvent être utilisés (famille, affectation)

> Inconvénient

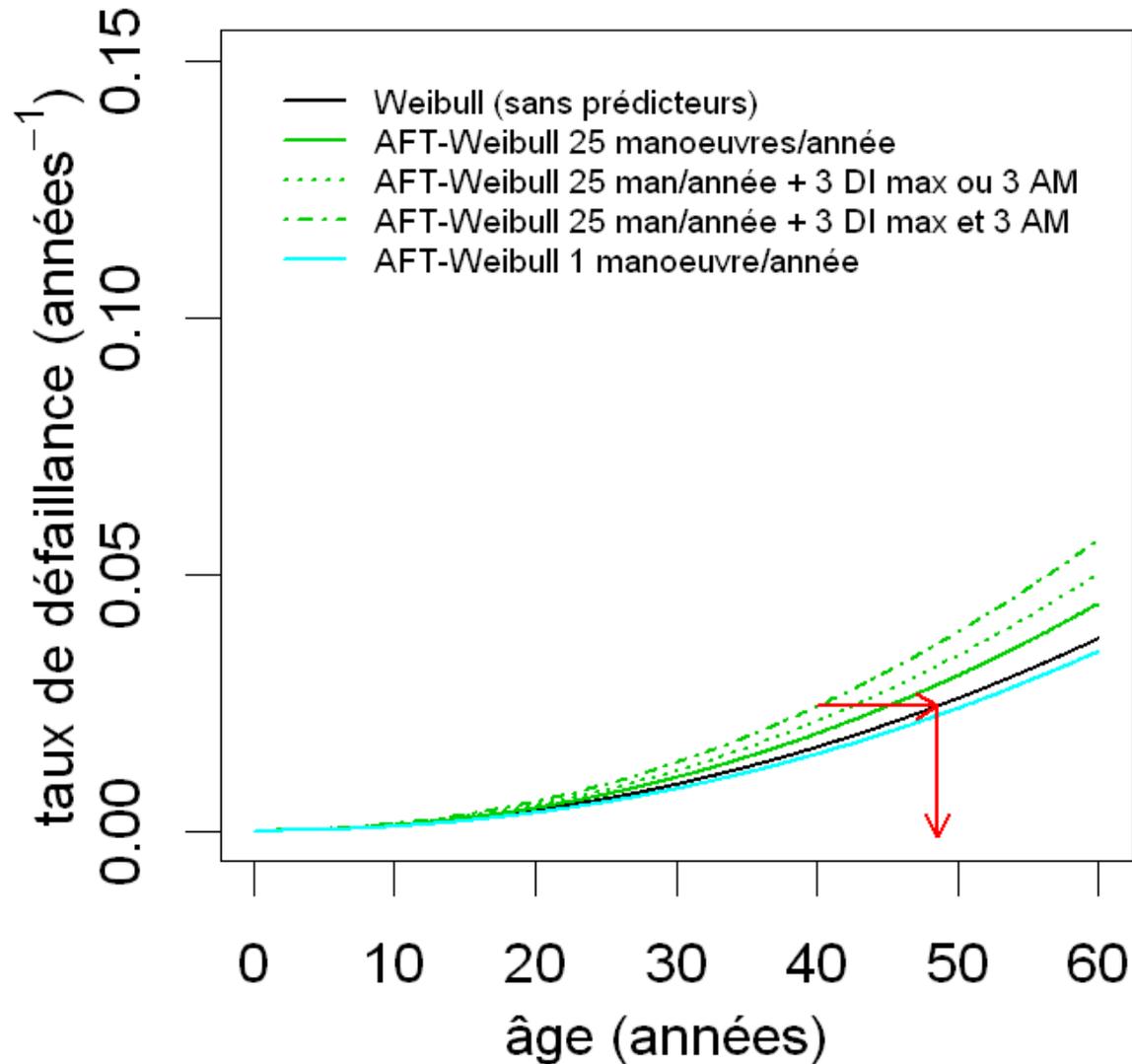
- DI et AM considérés fixes

Exemple disjoncteurs

Classement des appareils en comparant taux de défaillance $\hat{h}(t)$ estimé par AFT-Weibull au taux de défaillance Weibull (sans prédicteurs... ie courbe moyenne)

- Âge apparent
- Cote de probabilité (1 à 9)

Exemple disjoncteurs



Plan

- > Présentation Hydro-Québec
- > Gestion des actifs et fiabilité chez Hydro-Québec TransÉnergie
- > Quelques éléments de fiabilité
- > Suivi des appareils
- > Exemples
- > Conclusions et perspectives

Conclusions

- > Les bases de données des services publics d'électricité contiennent les données nécessaires à l'estimation de la date de mise au rebut des appareils électriques
- > En utilisant ces données, il est possible d'estimer la fiabilité et le taux de défaillance d'une façon plus rigoureuse
- > L'avis d'experts peut suppléer un manque de données (que l'ajout de moyens de surveillance avancés ne réglera pas rapidement)

Perspectives

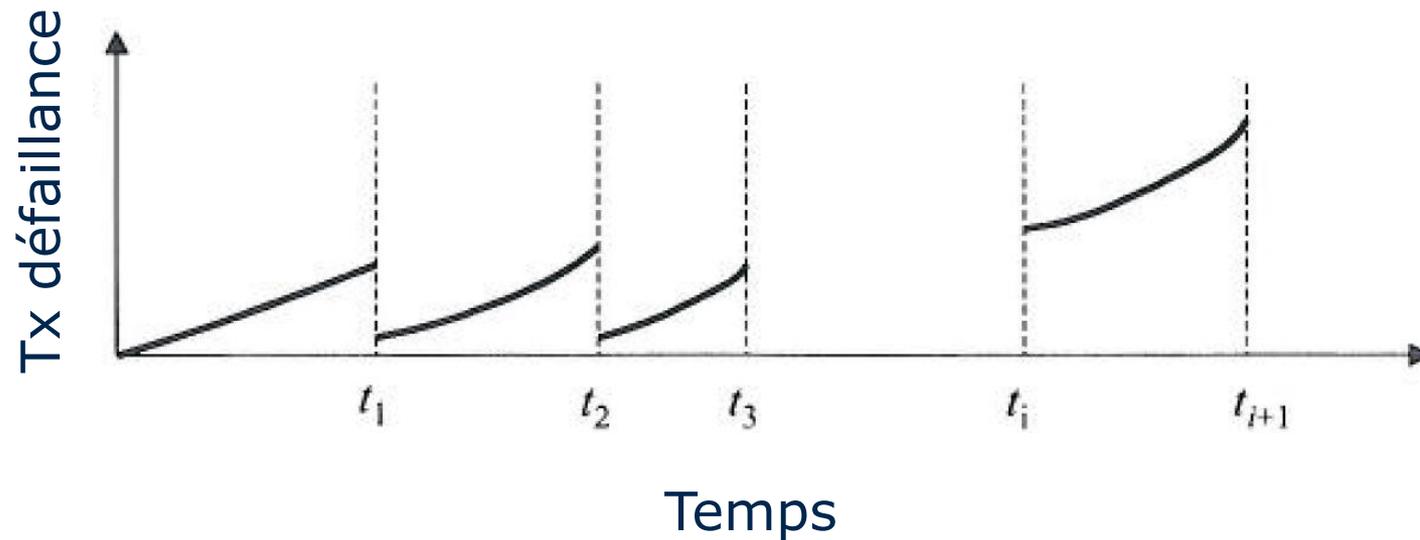
- > Estimation automatisée de la date de mise au rebut
- > Estimation des paramètres associés aux indicateurs d'état (DI et AM pour disjoncteurs)
- > Étude de l'effet des maintenances importantes (remise à neuf, réfection...)

Perspectives

- > Calcul d'intervalles de confiance
- > Utilisation de modèles de risques concurrents (pour les différentes raisons de mise au rebut)
- > Modélisation d'un événement récurrent

Perspectives

- > Modélisation de l'effet de la maintenance



- > Optimisation de la maintenance

Merci à mes collaborateurs

- > Normand Amyot
- > Mario Céré
- > Hélène Dumont
- > Stéphane Plourde
- > Groupe de travail transformateurs
 - Claude Rajotte
 - Germain Bizier
 - David Garon
 - Bruno Girard
 - Jean-François Hamel
 - Luc Landreville
 - Patrick Picher
 - Stéphane Proulx
 - Carl Tardif

Merci à mes collaborateurs

> Groupe de travail disjoncteurs

- René Doche
- Bernard Bérubé
- Alexandre Brassard
- Jacques Caron
- Nicolas Di Gaetano
- Maryse Godbout
- Jean-François Hamel
- KaMing Law
- Mario Léveillé
- Ryszard Pater
- Stéphane Perron
- Sébastien Poirier
- Pierre Primeau

