



ALTANOVA

A DOBLE COMPANY



Introduction au diagnostic des machines tournantes par la mesure des décharges partielles

Etienne DION
Ingénieur service
edion@doble.com

ALTANOVA est une société du groupe Doble Engineering Company, qui fournit des solutions de diagnostic aux gestionnaires de réseau et aux industriels pour améliorer les performances de leurs actifs électrique grâce à des équipements de test portable, des systèmes de surveillance avancés et des services.

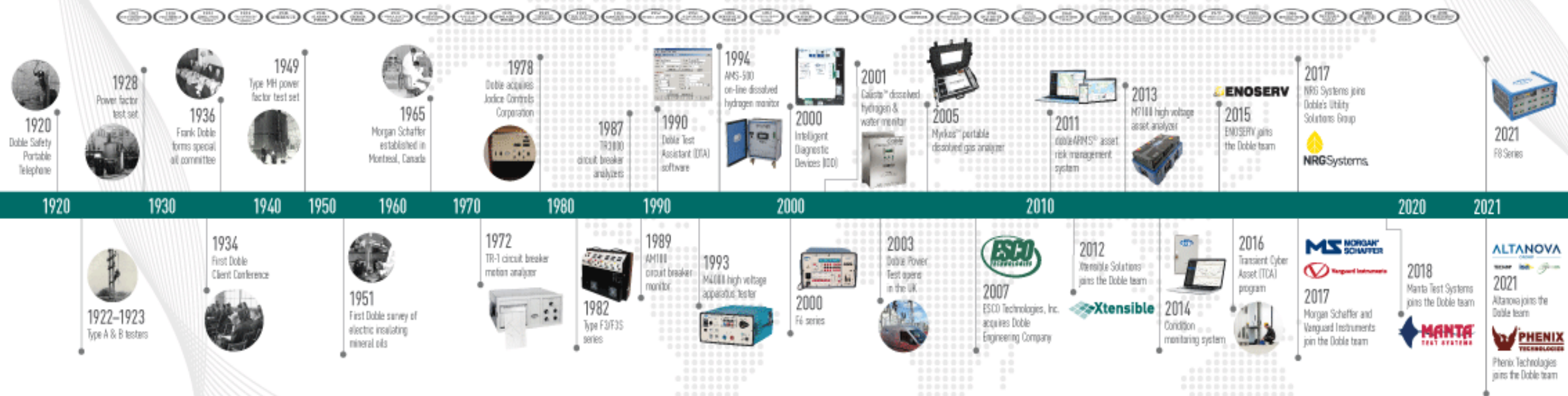
Altanova Historique

- 1938 Création de I.S.A. Istrumentazioni Sistemi Automatici S.r.l. à Taino ITALY
- 1999 Création de TECHIMP en partenariat avec l'université de Bologne ITALIE.
- 2017 Fusion de I.S.A. et TECHIMP, naissance du groupe ALTANOVA
- 2019 INTELLISAW rejoint le groupe ALTANOVA
- 2021 ALTANOVA GROUP rejoint le groupe ESCO Technology et devient une filiale de Doble Engineering Company.



Doble Historique

100 YEARS OF SERVICE TO THE ELECTRIC UTILITY INDUSTRY



Altanova aujourd'hui



100
PAYS



12

IMPLEMENTATION
MONDIALE



150+
EMPLOYES



150+
DISTRIBUTEURS



5550+
CLIENTS

ESCO Technologies' Utility
Solutions Group

MARQUES



Nos Solutions

Equipement de Test électrique

Pour les essais des équipements électriques. Utile Durant toutes les différentes phases de la durée de vie des actifs:

- Réception
- Mise en service
- Maintenance
- Réparation.

Services, diagnostics

Offre diversifiée selon le cycle de vie des actifs:

- Installation et mise en service
- Essais de diagnostic
- Analyse des données
- Consulting
- Formation.



Systèmes de monitoring

Passage d'une maintenance préventive à une maintenance conditionnelle.

La maintenance prédictive permet d'optimiser et fiabiliser les actifs électriques en réduisant le nombre de panne.

Le secteur de l'énergie est en pleine mutation avec la digitalisation des infrastructures.

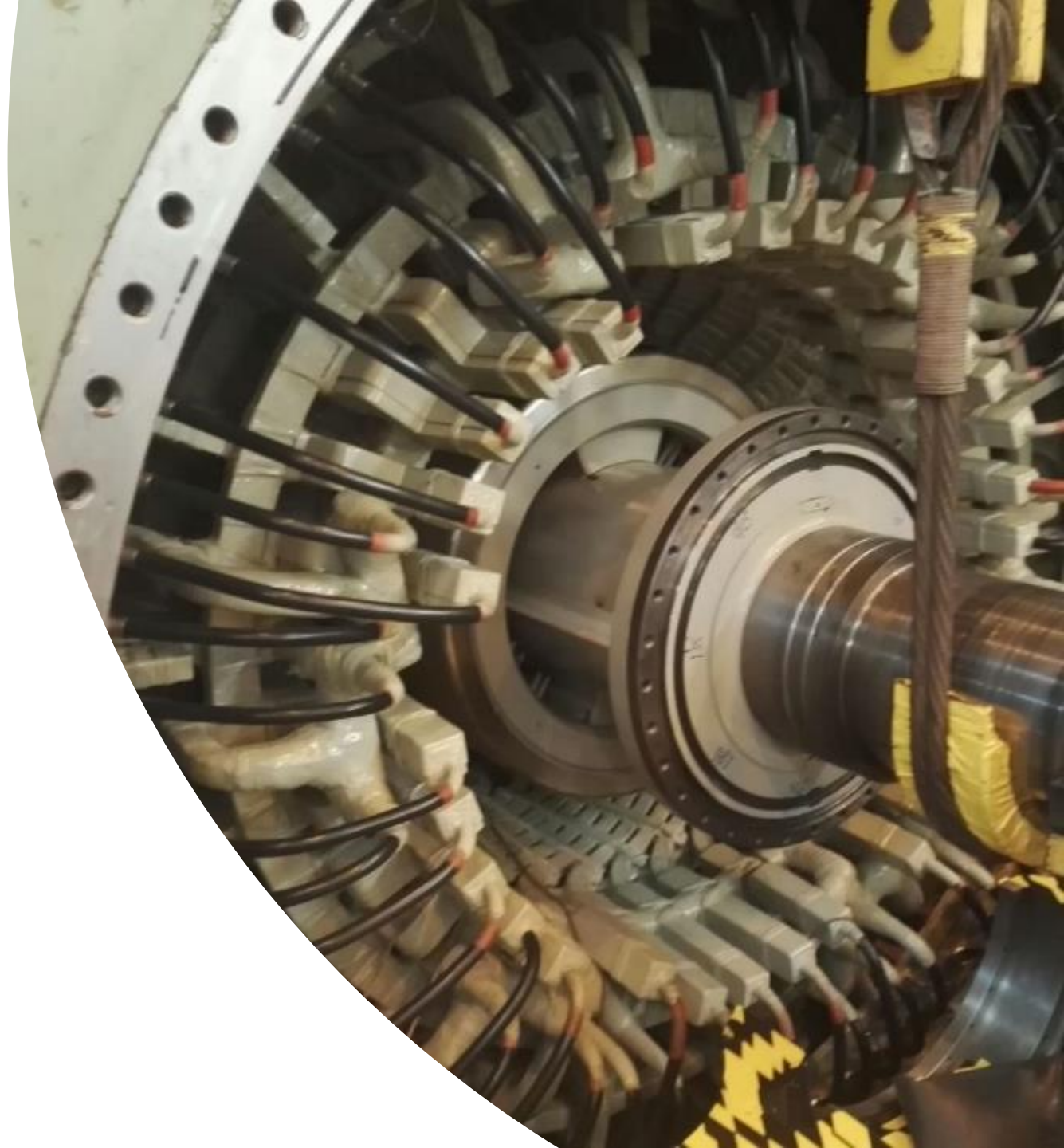
Solutions de Tests et Monitoring

- Transformateurs de puissance
- Disjoncteurs AIS
- Disjoncteurs GIS, PSEM
- Disjoncteurs HTA
- Câbles HTA & HTB
- Batteries
- Transformateurs de mesure
- Relais de protection
- Compteurs, capteurs
- Machines tournantes
- Variateurs de fréquence et de vitesse
- Lignes aériennes



Sommaire

- Diagnostic des machines tournantes
- Les DP dans les machines tournantes
- Capteurs de DP pour les machines tournantes
- Mesures On-line et Off-line
- Phénomène typique de DP
- Diaphonie et débruitage
- Analyse des DP
- Etude de cas





Diagnostics des machines tournantes

- Mesure de la résistance d'isolement et $\tan\delta$
- Perturbation électromagnétique (EMI)
- Décharges partielles dans les machines tournantes

Diagnostics des machines tournantes

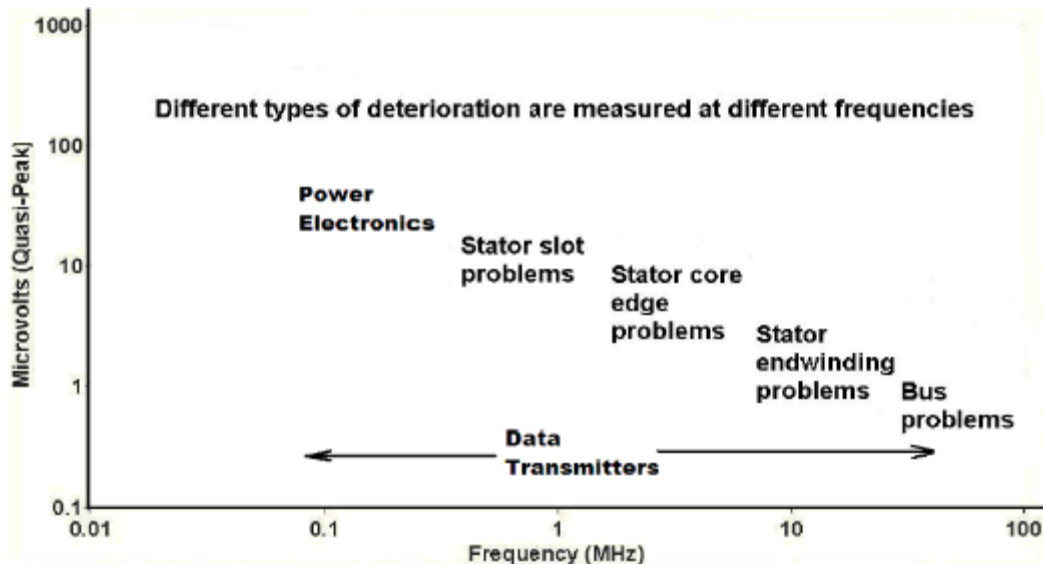
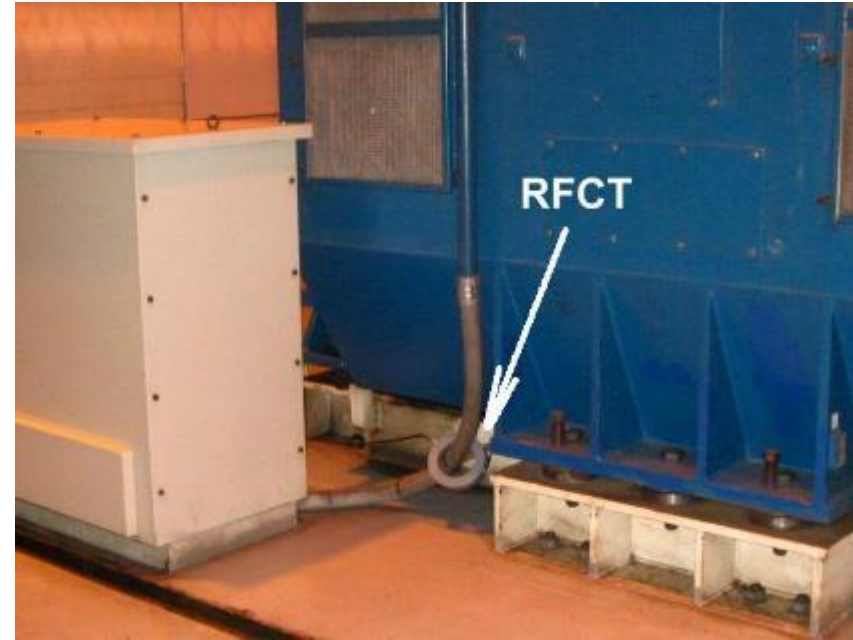
Tests classiques pour le diagnostic des machines tournantes:

- Résistance d'isolement
- Index de polarisation (IP)
- Résistance des enroulements
- Tan δ
- Capacité
- Décharges partielles

Diagnostics des machines tournantes

Perturbation électromagnétique

Les tests EMI permettent la détection de nombreux défauts par la mesure de signaux sur une large gamme de fréquences ainsi que leurs signatures.



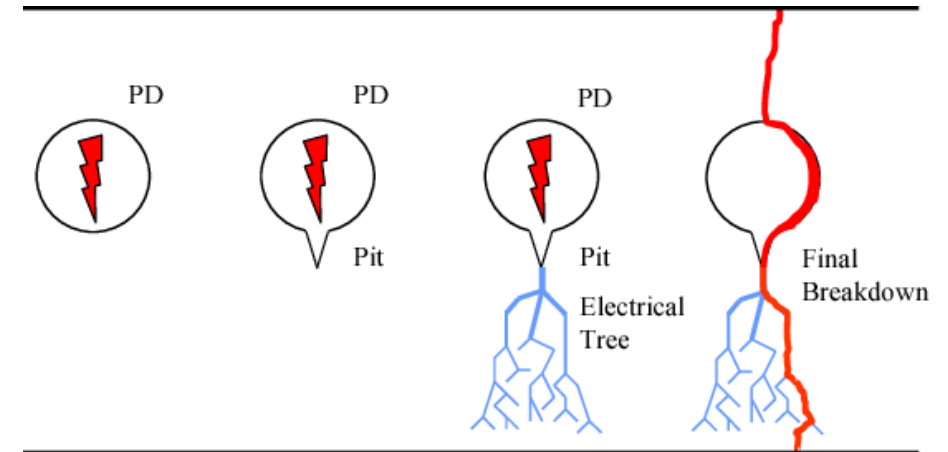
Diagnostics des machines tournantes

Décharges partielles dans les machines tournantes

Décharges partielles, définition:

IEC: “Décharge électrique localisée qui ne relie que partiellement l’isolation entre les conducteurs et qui peut ou ne peut pas se produire à proximité d’un conducteur”

IEEE: “Décharge électrique localisée qui ne relie que partiellement l’isolation entre les conducteurs”



Diagnostics des machines tournantes

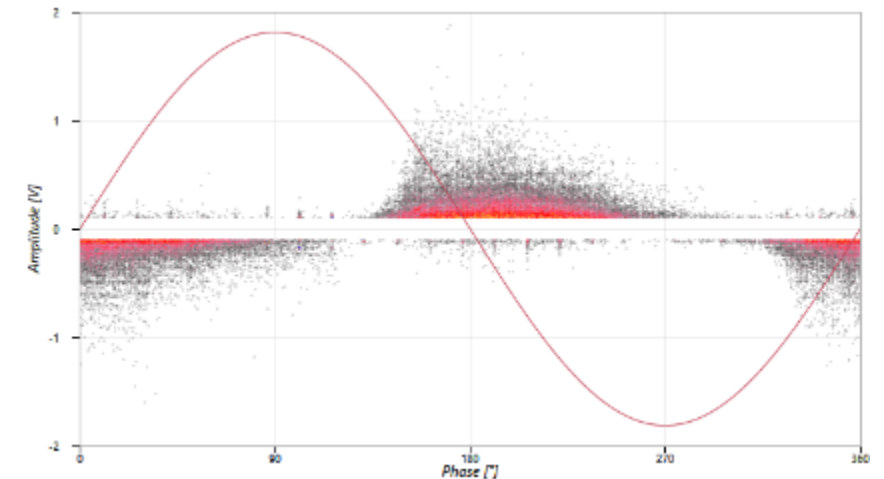
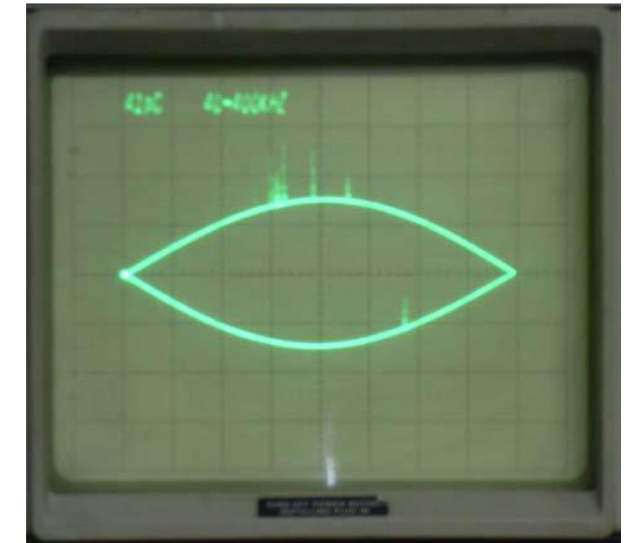
Décharges partielles dans les machines tournantes

Modèle de décharge partielle résolu en phase (PRPD Pattern):

Chaque phénomène de DP génère des milliers d'impulsions par seconde. La façon la plus courante de les visualiser est de tracer l'amplitude des impulsions corrélée à la phase de la tension appliquée.

La corrélation est basée sur la physique, la contrainte électrique due à la tension appliquée.

La reconnaissance des formes PRPD patterns est la clé pour le diagnostic des décharges partielles en dehors des laboratoires.



Diagnostics des machines tournantes

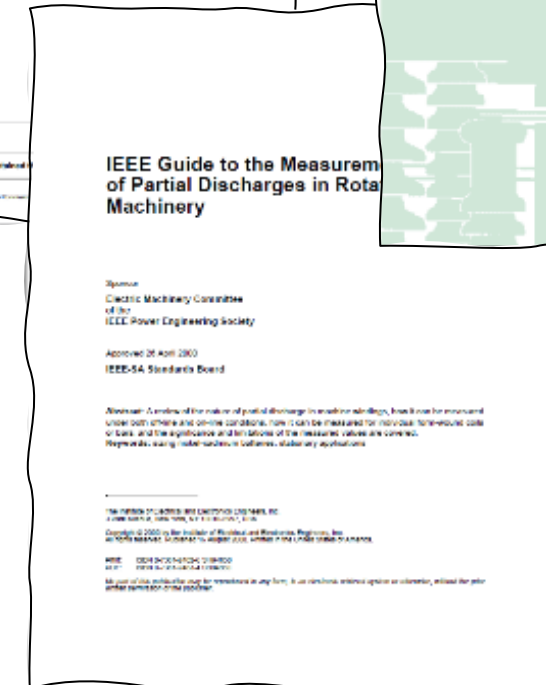
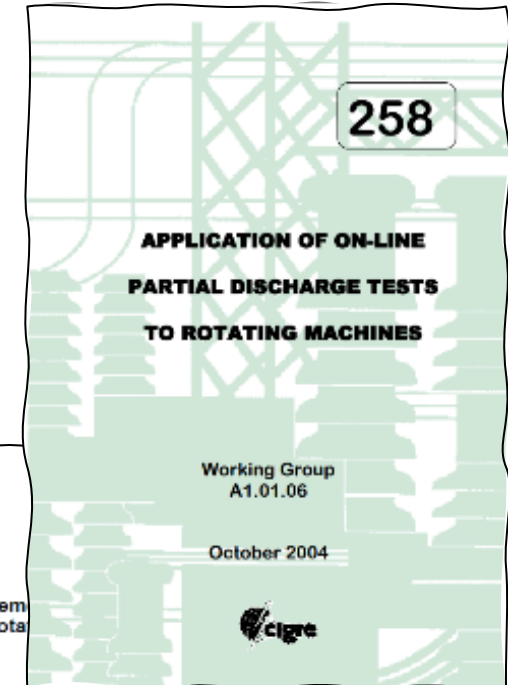
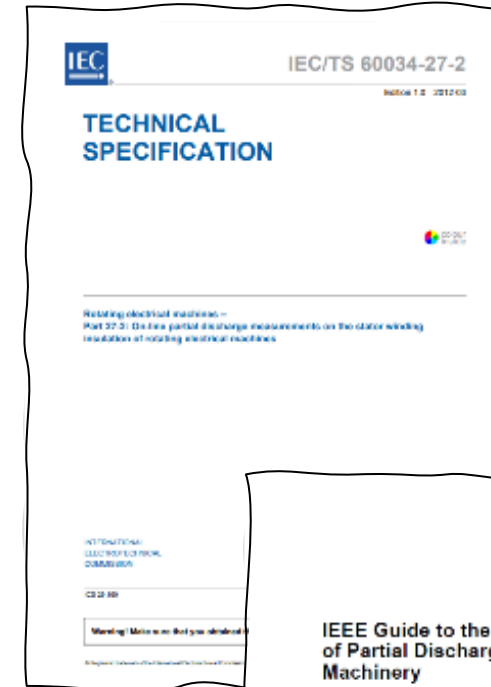
Décharges partielles dans les machines tournantes

Normes internationales :

IEC 60034-27-2: *On-line partial discharge measurements on the stator winding insulation of rotating electrical machines*

IEEE 1434: *Guide for the Measurement of Partial Discharges in AC Electric Machinery*

CIGRE 258: *Application of on-line partial discharge tests to rotating machines*





Capteurs de mesure de DP

- Comment détecter le signal
- Typologie des capteurs
- Exigence relative aux capteurs
- Positionnement des capteurs
- Signal & Sécurité

Capteurs de mesure de DP

Comment détecter le signal

Les défauts d'isolation localisés génèrent des signaux lorsqu'ils sont soumis à des contraintes électriques. Le phénomène est une source de signaux électromagnétiques à haute fréquence.

Le chemin du signal **conduit** peut être forcé dans un capteur et mesuré tandis que le signal **rayonné** est soumis à la conception du générateur qui peut atténuer et affecter la sensibilité.

Différents capteurs:

- Différents signaux de sortie de DP
- Sensibilité
- Signal de synchronisation

Capteurs de mesure de DP

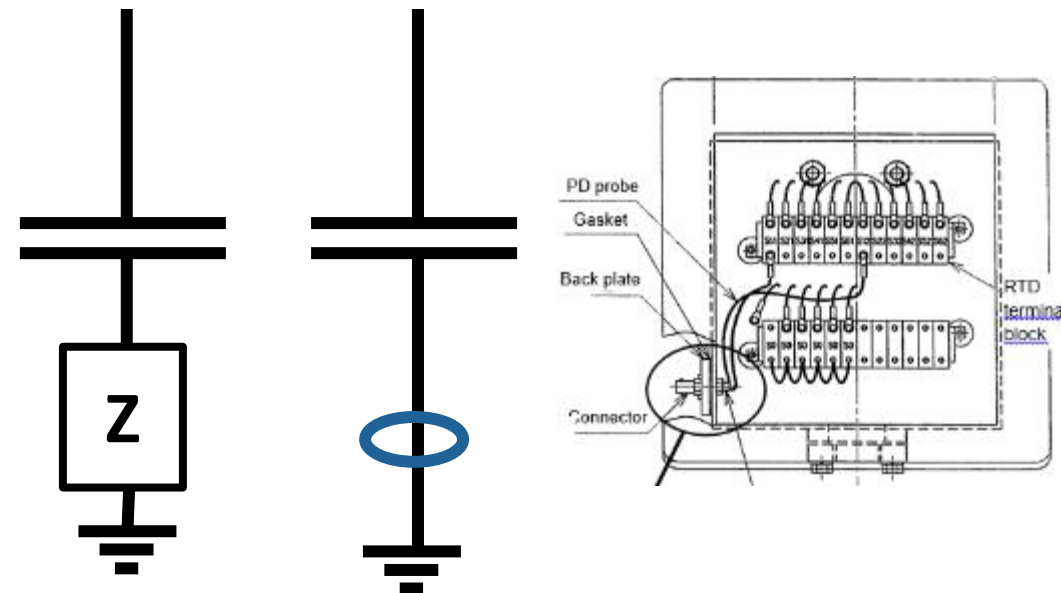
Typologie des capteurs

Les coupleurs capacitifs raccordés aux enroulements statoriques de la machine présentent le niveau de sensibilité le plus élevé.

Le signal de mesure de décharge partielle peut être mesuré par:

- La chute de tension via une impédance
- Un transformateur de courant haute fréquence

Des antennes peuvent également être utilisées et placées à proximité des enroulements pour capter les ondes électromagnétiques émises par les décharges partielles.



Capteurs de mesure de DP

Typologie des capteurs

	Capacitif	Capacitif+ HFCT	Antenne, capteur d'encoche
Sensibilité	Haute	Faible	Très élevé localement
Installation	Effort modéré	Effort modéré	Effort élevé
Sécurité	Moyenne	Très haute	Haute
Signal de synchronisation	OUI	NON	NON
Principe de Couplage	Signal conduit	Signal induit	Signal rayonné

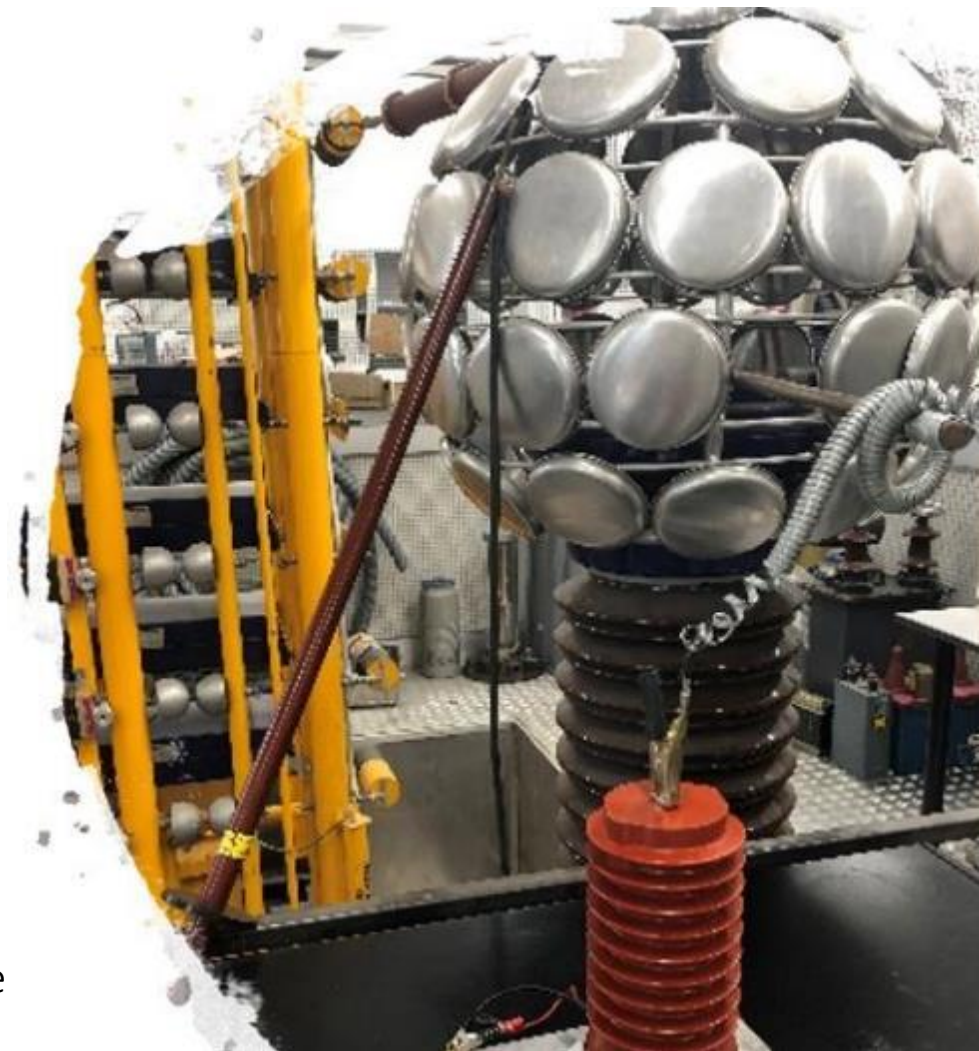
Capteurs de mesure de DP

Exigences relatives aux capteurs

L'installation d'un capteur permanent, connecté à un enroulement haute tension, ne doit pas engendrer un risque de défaillance de l'équipement surveillé.

→ Qualification du capteur:

- Test de type (thermique, diélectrique, essai de choc, ...)
- Chaque capteur est soumis à un essai diélectrique de $3 U_n$
- Chaque capteur doit être sans DP après l'essai diélectrique de $3U_n$
- Valeur de capacité » et de rapport de tension avec de faibles valeurs de tolérances.



Capteurs de mesure de DP

Coupleur de DP 7KV 1000pF, kit triphasé



Solution compacte et légère, idéale pour les moteurs 6.6kV ayant un espace limité dans la boîte de raccordement. Le kit d'installation comprend une boîte de connexion IP68, les câbles des signaux BT ainsi que les liaisons HT.

Coupleur de DP 12/17/24KV 1000pF, kit triphasé



3 niveaux de tension: 12kV, 17,5 and 24kV. Les niveaux de tension et les dimensions des capteurs dépendent des lignes de fuites admissibles pour ces niveaux de tension.

Capteurs de mesure de DP

Positionnement des capteurs

Les capteurs de DP sont installés dans des zones présentant des niveaux de risque élevé (haute tension, forte énergie). Le risque de défaillance doit être minimal.

- Partie métallique amagnétique
- Le capteur de DP ne doit pas réduire les capacités du système d'isolation de l'équipement en essai.
- Les contraintes thermiques et vibratoire doivent être prise en compte.
- Le design doit éviter de générer des décharges surfacique et de type Corona.



Capteurs de mesure de DP

Signal et sécurité

Des câbles coaxiaux sont utilisés pour acheminer le signal du capteur à la boîte de raccordement.

En plus des signaux de DP et de synchronisation, la boîte de raccordement dispose d'un système de sécurité passif contre les surtensions.





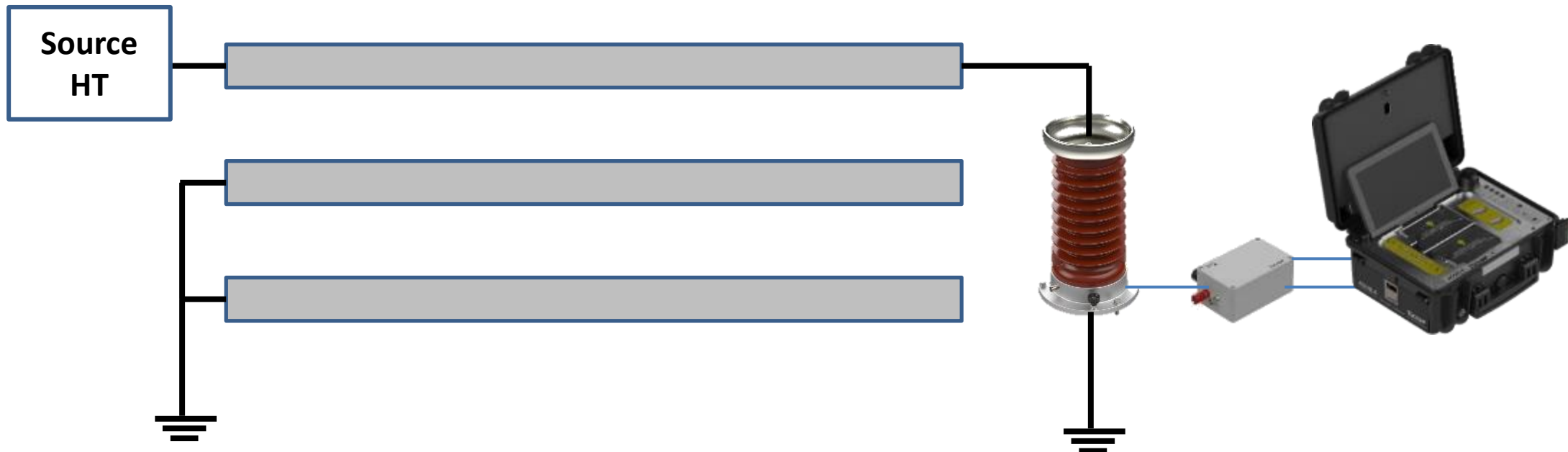
Essais ON-line ou OFF-line

- Mesure de DP hors service
- Mesure de DP en service
- Comparaison technique
- Comparaison pratique

Essais ON-line ou OFF-line

Mesure de DP hors service (Off-line)

Les mesures de décharges partielles hors service sont effectuées lors d'arrêt technique de l'équipement. Elles nécessitent l'utilisation d'une source haute tension externe, d'une capacité de couplage et d'un système d'acquisition des DP. La chaîne d'acquisition doit être calibrée.



Essais ON-line ou OFF-line

Mesure de DP hors service (Off-line)

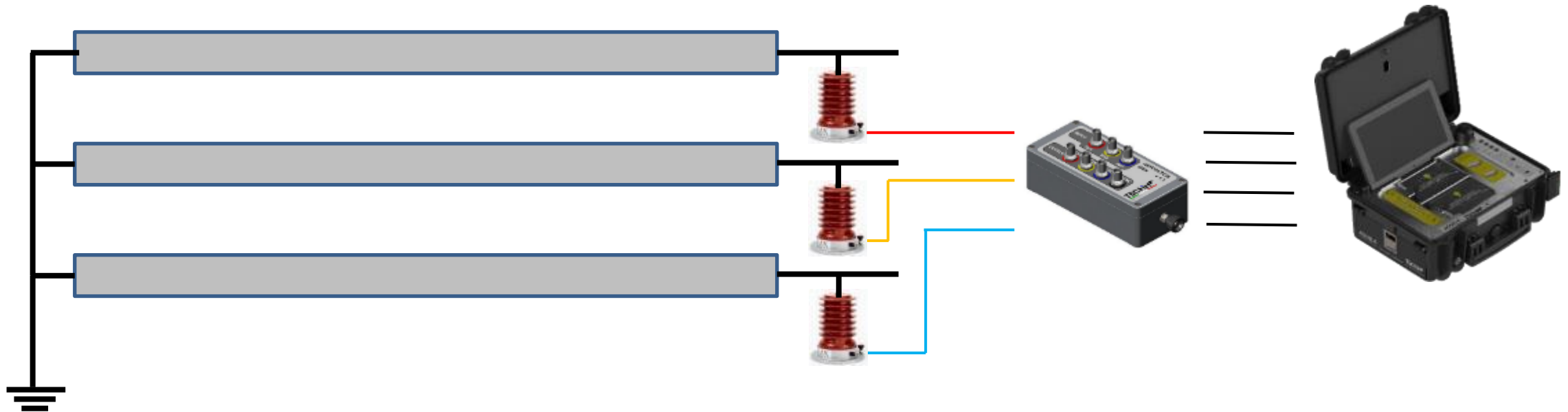
Les aspects techniques suivants doivent être pris en compte lors des essais hors service:

- Mesure entre phase et masse uniquement.
- Aucun changement de température ne peut se produire durant l'essai.
- Machine en état statique, cet essai ne tient pas compte des contraintes mécaniques.
- Test monophasé, phase par phase avec les 2 autres phases à la masse durant l'essai.
- La source haute tension doit être sans décharges partielles.
- Evaluation des tension d'apparition et d'extinction des décharges.
- Champ électrique durant l'essai non semblable à la tension durant l'exploitation.

Essais ON-line ou OFF-line

Mesure de DP en service (On-line)

Les mesures DP en service sont effectuées dans les conditions d'exploitation de la machine (variation de charge, de température, vibration). Ceci nécessite l'installation de capteur permanent. Cette mesure peut également être réalisée temporairement mais des précautions sont à prendre pour l'installation des capteurs.



Essais ON-line ou OFF-line

Mesure de DP en service (On-line)

Les aspect techniques suivants doivent être prise en compte durant l'essai:

- Mesure périodique, identification de défauts
- Conditions d'essai (niveau de charge, température, ...)
- Effets de diaphonie
- Perturbations externes
- Acquisition des 3 phases simultanément
- Capteurs permanents
- Test réalisé en sécurité



Essais ON-line ou OFF-line

Comparaison technique

	Hors service (Off-line)	En service (On-line)
Capteurs permanent requis	NON	OUI
Diaphonie	NON	OUI
Condition réelle de stress électrique	NON	OUI
Corrélation avec des données historique	Dépend du type de capteur et du système d'acquisition utilisé	Capteur à demeure. Dépend du type de système d'acquisition utilisé
Niveau de stress durant l'intervention	NON	OUI

Essais ON-line ou OFF-line

Comparaison pratique

	Hors service (Off-line)	En service (On-line)
Prix d'intervention	Élevé	Faible
Effort client	Élevé	Élevé
Interruption de l'exploitation requis	OUI	NON
Capteur de DP	Apporté par une société de service	Compatibilités des capteurs
Sécurité	Potentiel dangereux	Test en sécurité
Stresse électrique et autres	Application de différent pas de tension	Condition d'exploitation (Un) Température – Charges
Implication des équipes de maintenance	OUI	NON
Matériel Requis	Source HT, capteur + système d'acquisition	Système d'acquisition



Identification des phénomènes de DP

- PRPD pattern et polarité
- Vacuoles
- Délamination
- Délamination côté conducteur
- Décharge d'encoche
- Décharges du système de protection anti-effluve
- Décharge entres barres ou entre une barre et la masse.

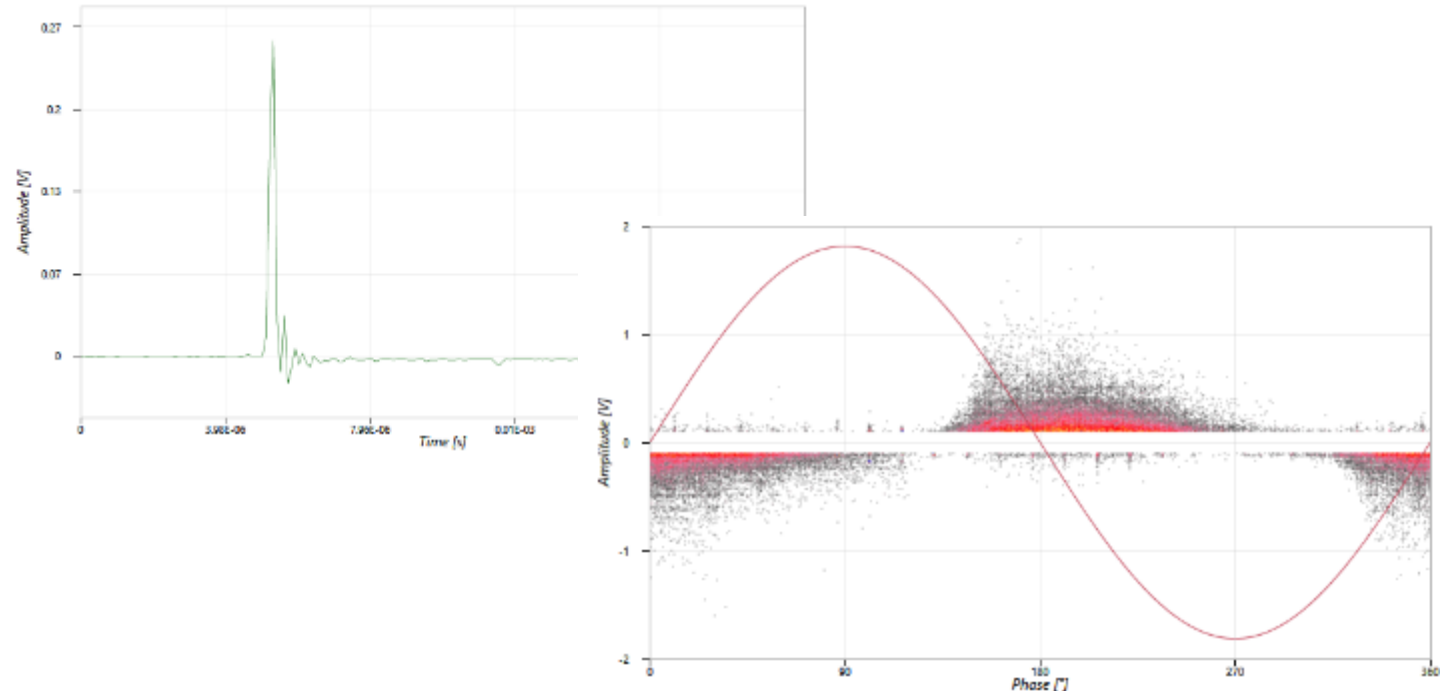
Identification des DP

PRPD pattern et polarité

L'étude des modèles de PRPD patterns est la clé du diagnostics de test avancé des décharges partielle.

Des connaissances sont nécessaires pour faire une interprétation correcte, ainsi que pour acquérir de bonnes données de DP.

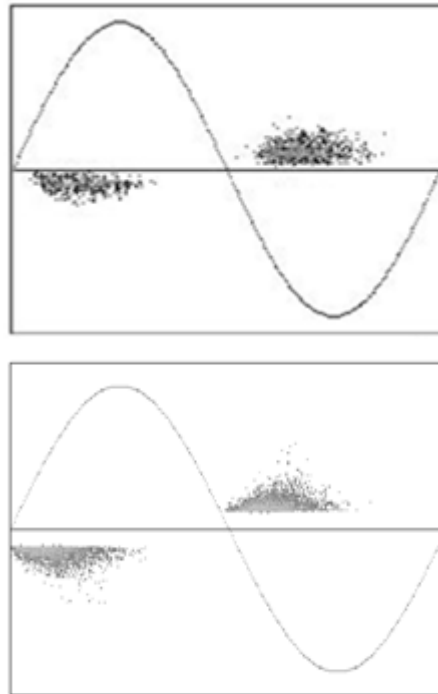
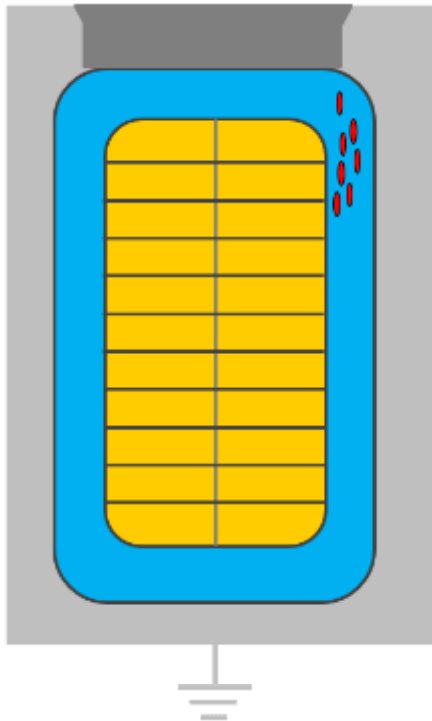
- Amplitude des impulsions
- Polarité des impulsions
- Angle de phase



Identification des DP

Vacuoles

Vacuoles présentent à l'intérieur du mur isolant. Ces défauts internes résultent du processus de fabrication (imprégnation) de la machine. Elles sont inévitables et sont présentes du premier jour de fonctionnement jusqu'à la fin de vie de la machine. Ce type de décharge n'affecte pas la durée de vie de la machine.



Symétrie des DP+ & DP-

Intervalle d'angle de phase régulier

Amplitude faible

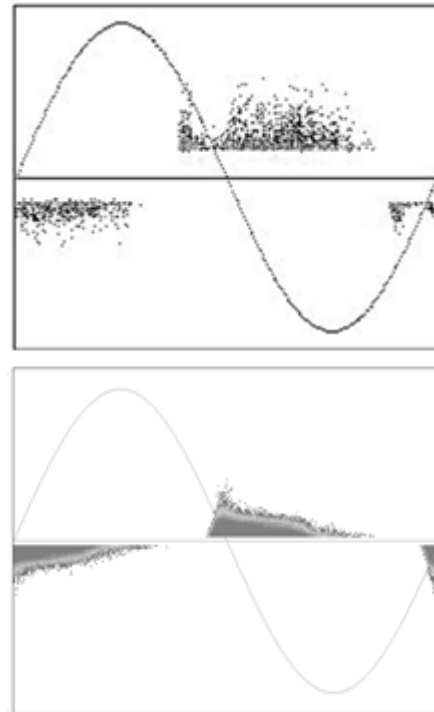
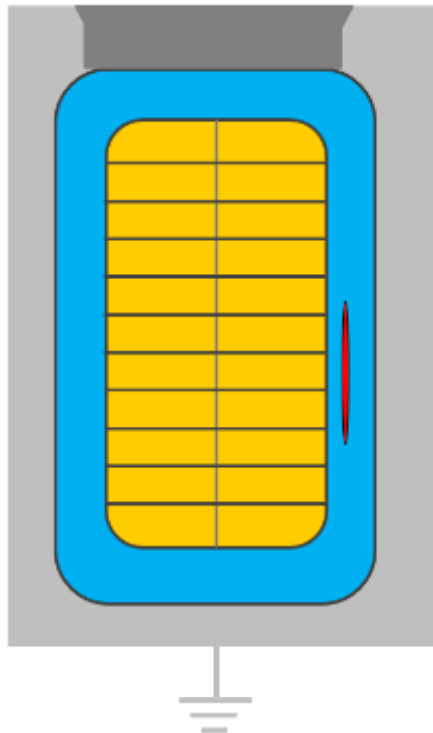
Forme triangulaire

*+/- fait référence à l'amplitude des impulsion et non à la tension appliquée

Identification des DP

Délamination interne

Séparation des différentes couches de mica à l'intérieur du mur isolant. Ces séparations forment des poches oblongues d'air. Elles sont causées par un durcissement imparfait du système d'isolation lors de la fabrication ou lors de présence de contraintes mécaniques ou thermiques excessives durant l'exploitation de la machine. Ces délaminations réduisent la conductivité thermique de l'isolant, ce qui entraîne un vieillissement accéléré ou un emballement thermique .



Symétrie DP+ & DP-

Larges intervalles d'angle de phase

Forme triangulaire

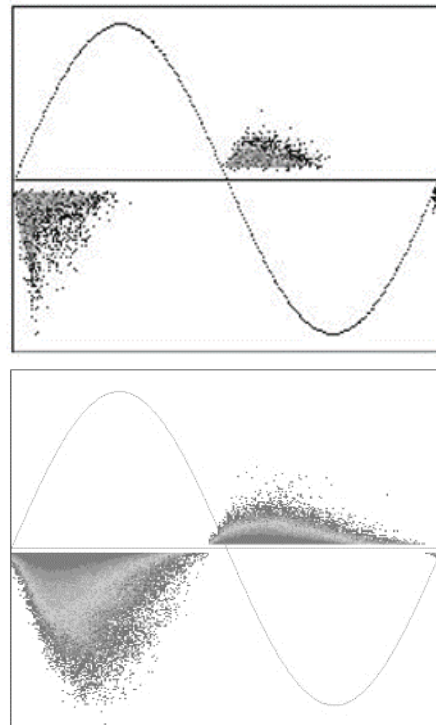
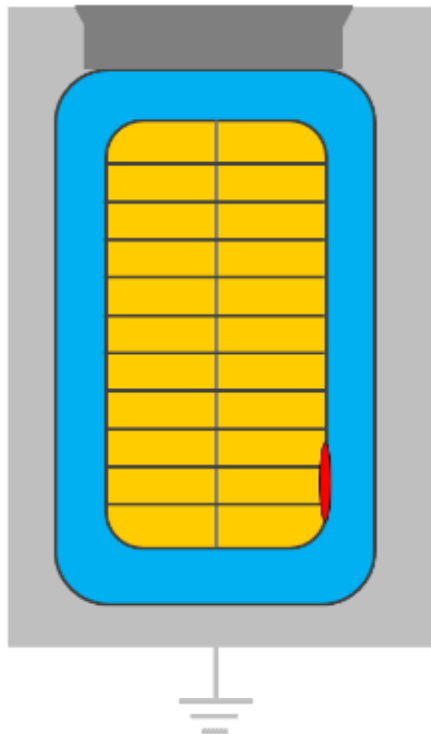
Démarrage avant le passage à 0.

*+/- fait référence à l'amplitude des impulsion et non à la tension appliquée

Identification des DP

Délamination côté conducteur

Décollement de l'isolant entre une ou plusieurs spires et le mur isolant. Ces défauts forment des poches d'air oblongue entre les spires ou barres de cuivre et le mur isolant. Ces défauts entraînent un point chaud localisé.



DP- >> DP +*

Intervalle d'angle de phase régulier

Amplitude déséquilibrée

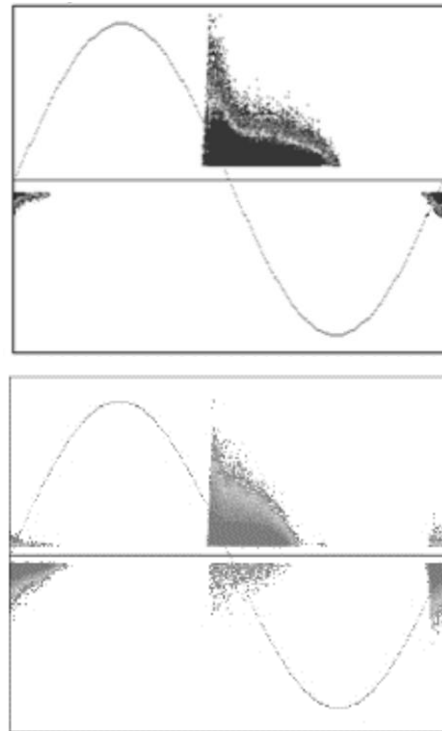
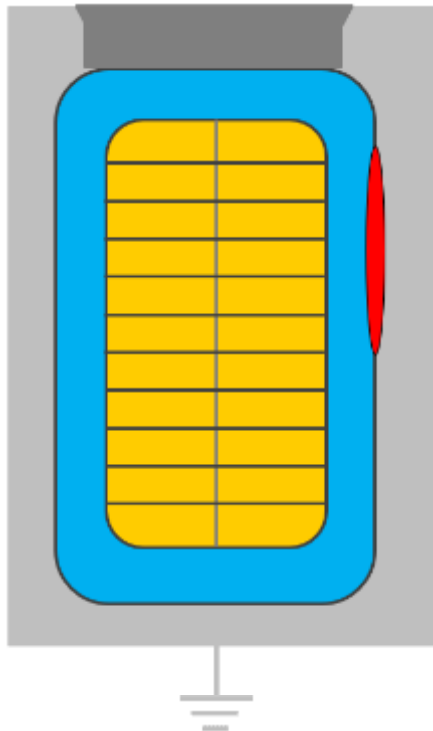
Démarrage avant le passage à 0.

*+/- fait référence à l'amplitude des impulsion et non à la tension appliquée

Identification des DP

Décharges d'encoche

Décharges entre le revêtement semi-conducteur présent dans l'encoche et le circuit magnétique. Ces décharges se produisent lorsque le revêtement est endommagé en raison d'un mouvement de la barre/ bobine dans l'encoche (érosion, discontinuité ou attaque chimique du revêtement). Ces décharges érodent le revêtement semi-conducteur ce qui engendre un potentiel flottant dans l'encoche et des décharges de forte énergie agressent l'isolement principale de la barre.



$DP+ \gg DP-^*$

Intervalle d'angle de phase régulier

Amplitude déséquilibré

Démarrage avant le passage à 0

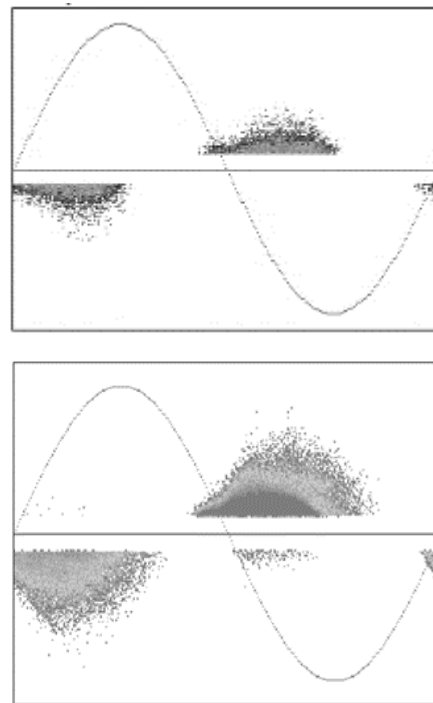
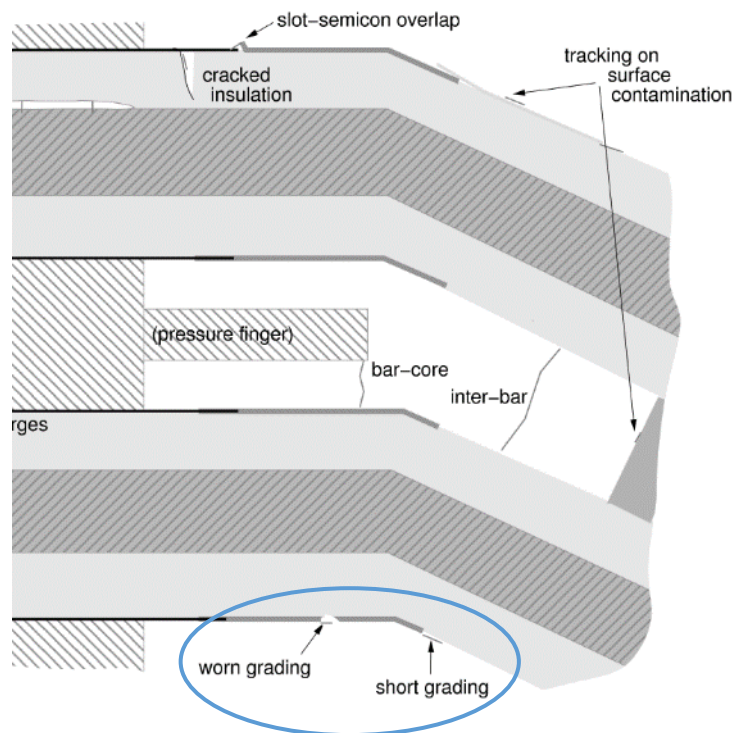
Amplitude $DP+$ max $\approx$ passage à 0

*+/- fait référence à l'amplitude des impulsion et non à la tension appliquée

Identification des DP

Décharge en sortie de fer sur le revêtement semi-conducteur (Stress grading discharges)

Les décharges se produisent à l'interface entre le revêtement semi-conducteur et le revêtement de contrôle de la contrainte de tension en sortie de fer. Ce type de décharge peut être lié à la présence de pollution, contamination, problème de design. Il s'agit généralement d'un mécanisme de défaillance lent, même si le comportement des DP peut changer rapidement en raison d'effets de surface.



$DD+ > DD-^*$

Intervalle d'angle de phase régulier

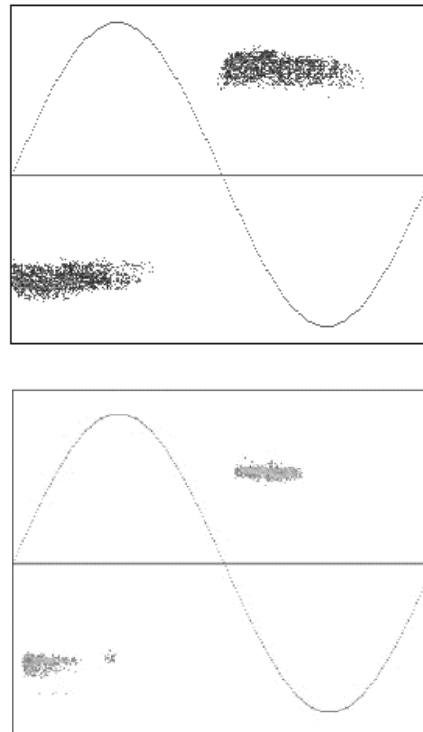
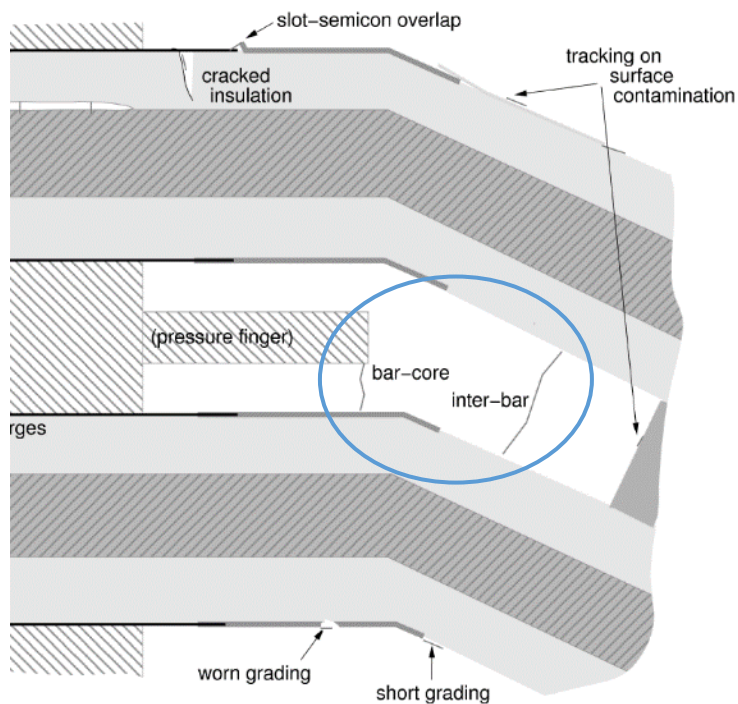
Forme arrondie

*+/- fait référence à l'amplitude des impulsion
et non à la tension appliquée

Identification des DP

Entre deux barres / entre une barre et la masse

Ces décharges se produisent dans l'entrefer entre barres de phases différentes ou entre une barre et la masse lorsque le stress électrique est trop important entre le doigt de maintien du circuit magnétique et la barre. Ce type de décharge peut détériorer le système d'isolation plus rapidement que les décharges de type Corona et engendre un risque de défaillance phase masse.



$$DP+ = DP - *$$

Taux de répétition élevé

Détaché du niveau de déclenchement

PRPD pattern « carré »

*+/- fait référence à l'amplitude des impulsion
et non à la tension appliquée



Diaphonie et débruitage

- Problème de bruit et de perturbation électromagnétique dans les machines tournantes
- Excitation, électronique de commutation, régulation.
- Filtrage
- Filtrage et identification Temps-Fréquence

Diaphonie et débruitage

Bruit et perturbation affectant les mesures de DP dans les machines tournantes

De nombreux signaux de bruit peuvent être capté lors d'une acquisition de mesure de DP sur une machine tournante. Certaines perturbations sont considérées comme « classiques » et facilement reconnaissable (bruit provenant de l'excitation, perturbation externe, diaphonie).

- Perturbations non synchronisées (outils électrique, pont roulant, variateur de vitesse, ...)
- Perturbations synchronisées (mauvaise connexion électrique, source de décharges externe à l'équipement en essai, ...)

Les PRPD pattern permettent:

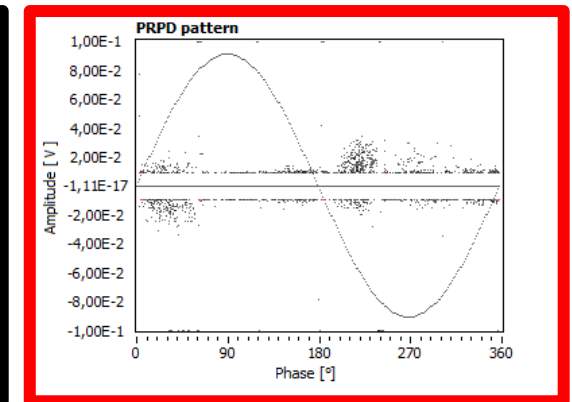
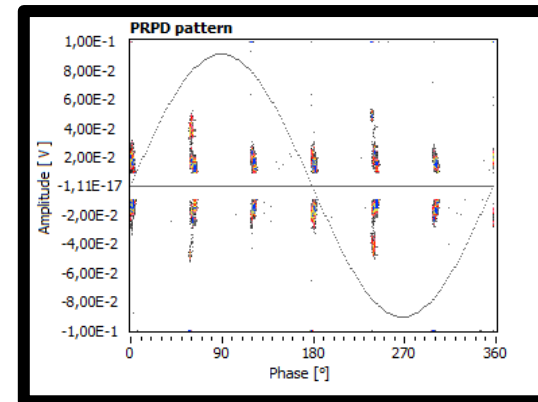
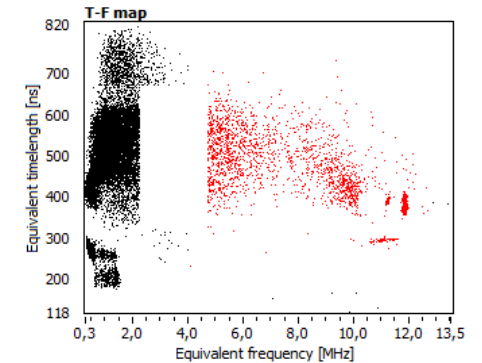
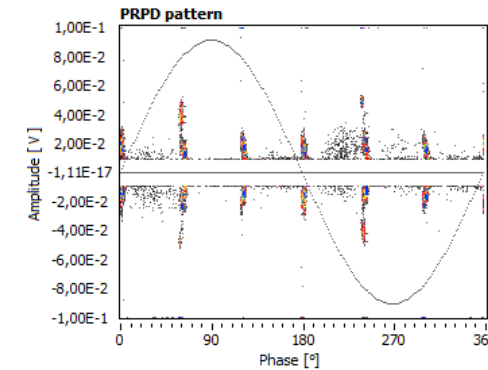
- Reconnaître les signaux corrélés en tension
- Identifier la corrélation des DP avec la phase appropriée
- Identifier la diaphonie

Diaphonie et débruitage

Excitation & Electronique

Le bruit provenant de l'excitation peut être très gênant car il affecte la lecture des amplitudes et le taux de répétition des impulsions.

Ce signal est normalement caractérisé par une composante basse fréquence et peut être atténué ou éliminé au moyen d'un filtre passif ou d'un outil de filtrage numérique (TF-map).

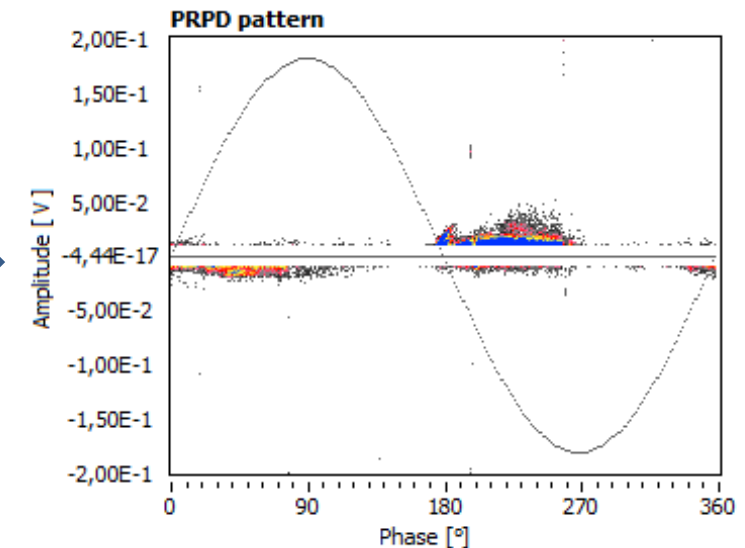
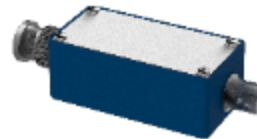
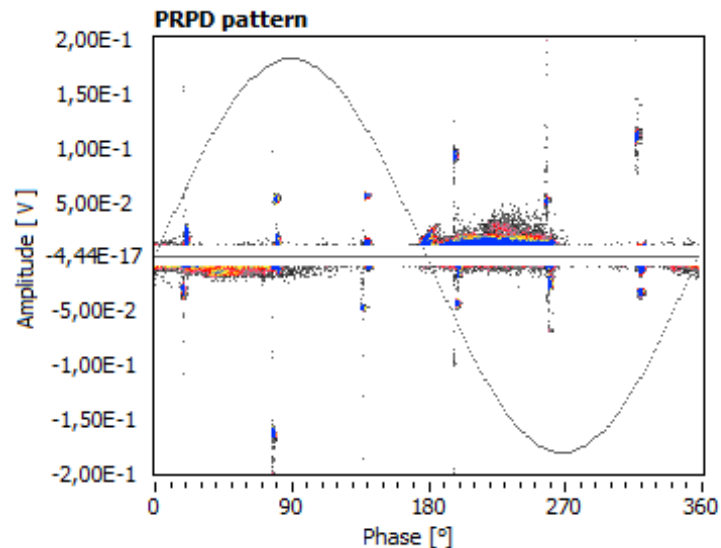


Diaphonie et débruitage

Filtre passif

Des filtres passifs peuvent être insérés entre le signal de sortie du capteur et l'entrée du système d'acquisition afin de :

- Supprimer des perturbations basse fréquence
- Supprimer des perturbations haute fréquence
- Créer un filtre passe bande ou atténuer un signal existant



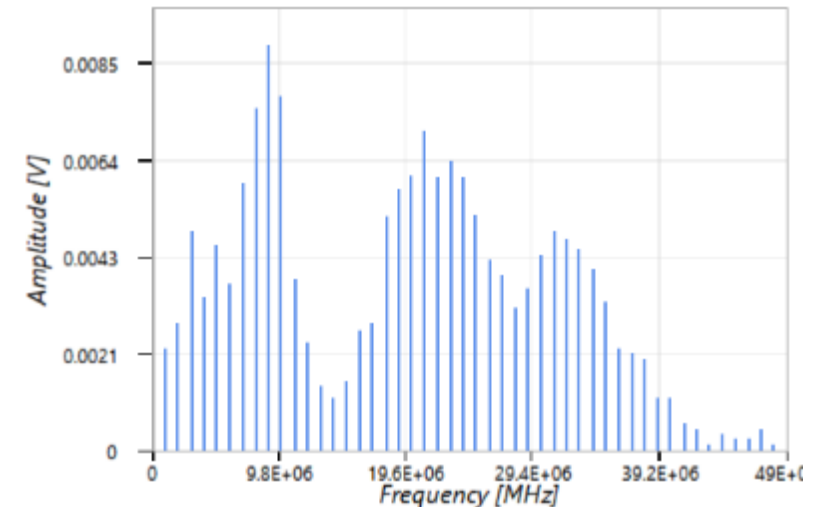
Diaphonie et débruitage

Représentation Temps-Fréquence (TF-map)



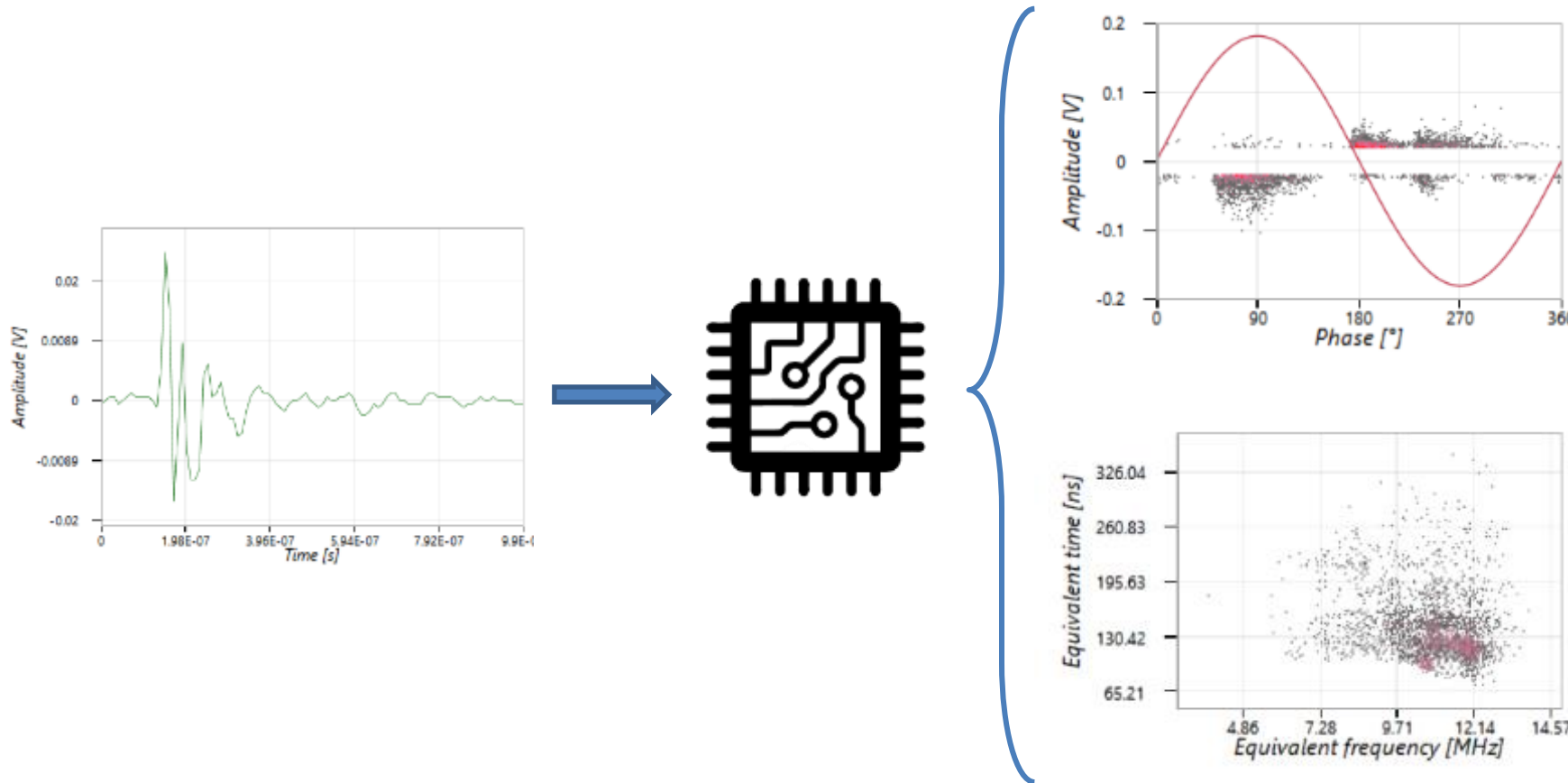
Chaque seconde, le système d'acquisition des DP acquiert des milliers d'impulsions. Il est impossible de visualiser et de vérifier chaque impulsion de DP. L'instrument enregistre seulement deux informations, **l'amplitude et l'angle de phase**.

Chaque signal haute fréquence peut être étudié et visualisé à partir de son **spectre d'impulsions fréquentiels**. Ces informations peuvent être considérées comme une empreinte digitale du signal.



Diaphonie et débruitage

Représentation Temps-Fréquence (TF-map)



Impulsion représentée en amplitude & angle de phase

➔ Modèle DP résolu en phase
PRPD Pattern

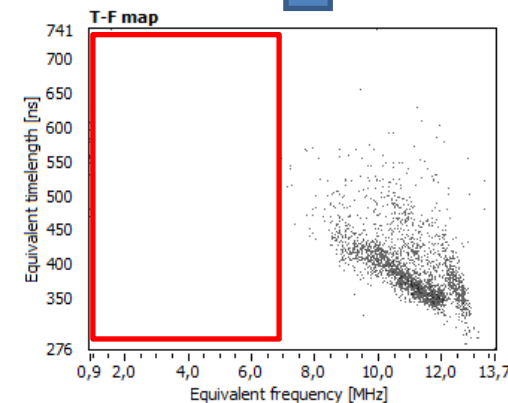
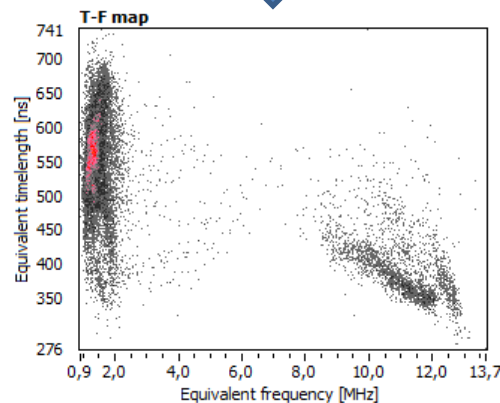
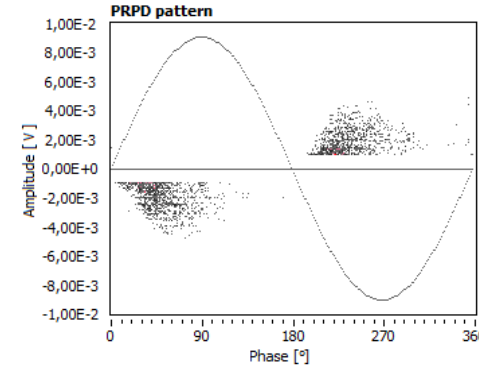
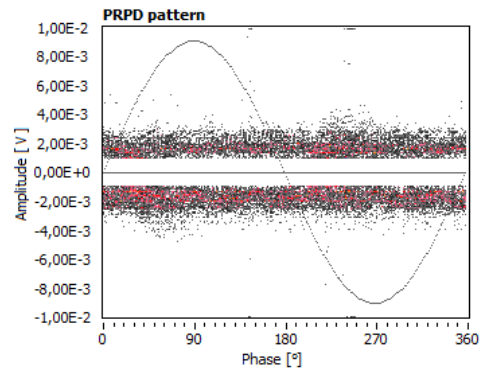
Impulsion représentées en Temps et en Fréquences

➔ Modèle DP résolu en fréquence

Diaphonie et débruitage

Représentation Temps-Fréquence (TF-map)

La représentation graphique des différents signaux Temps Fréquences permet la séparation et l'identification des différents phénomènes en différents clusters.





Analyse des DP

- Paramètres d'acquisition
- Filtrage par TF-map
- Ensemble des données
- Séparation des différents clusters (TF map)
- Identification des différents phénomènes
- Etablissement d'une tendance

Analyse des DP

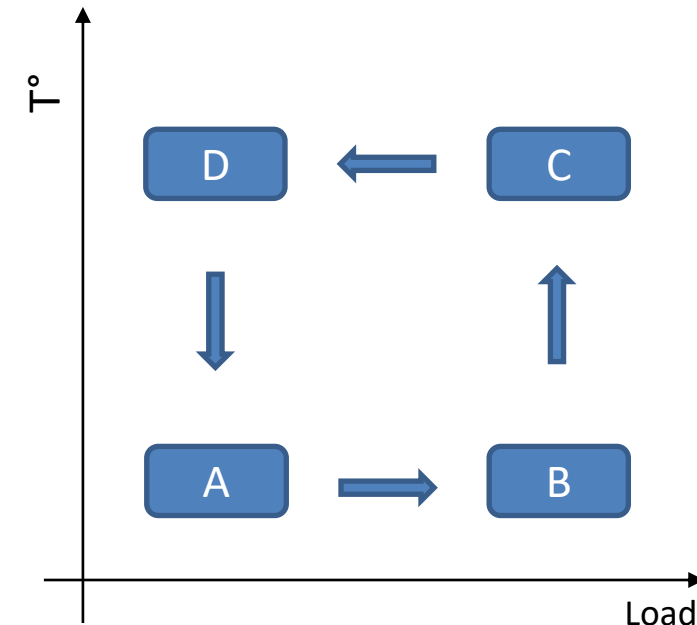
Paramètres d'acquisition

L'analyse des DP commence pendant le processus d'acquisition. Une session d'acquisition appropriée doit fournir les données et informations suivantes à utiliser pendant l'analyse:

- Données des signaux de décharge de forte amplitude
- Données des signaux de décharge de faible amplitude
- Condition de la machine (Charge, température)

Il est également conseillé d'utiliser durant les phases d'acquisition :

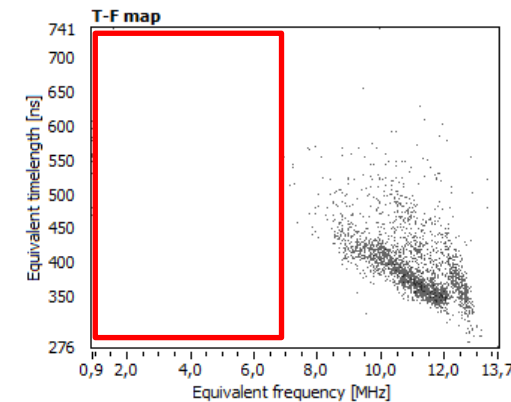
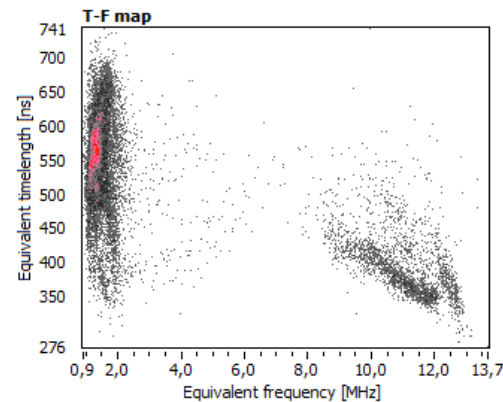
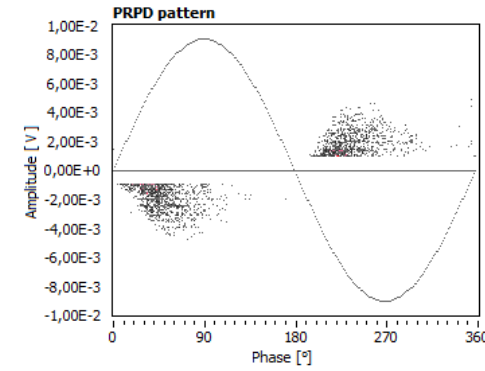
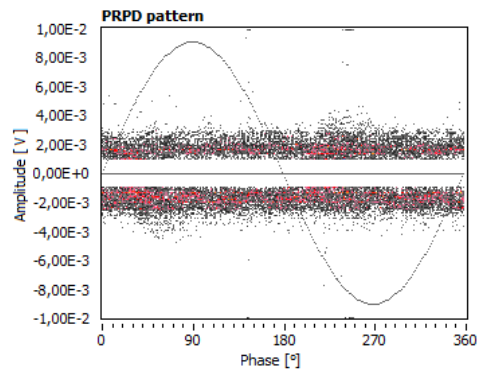
- Différent délai
- Différent triggers
- Filtre passif



Analyse des DP

Représentation Temps Fréquence, filtrage

Les signaux de DP sont affichés en fonction de leur amplitude. Si aucun outils de filtrage n'est utilisé, la sortie de mesure de DP sera focalisée uniquement sur les signaux d'amplitude les plus élevés.

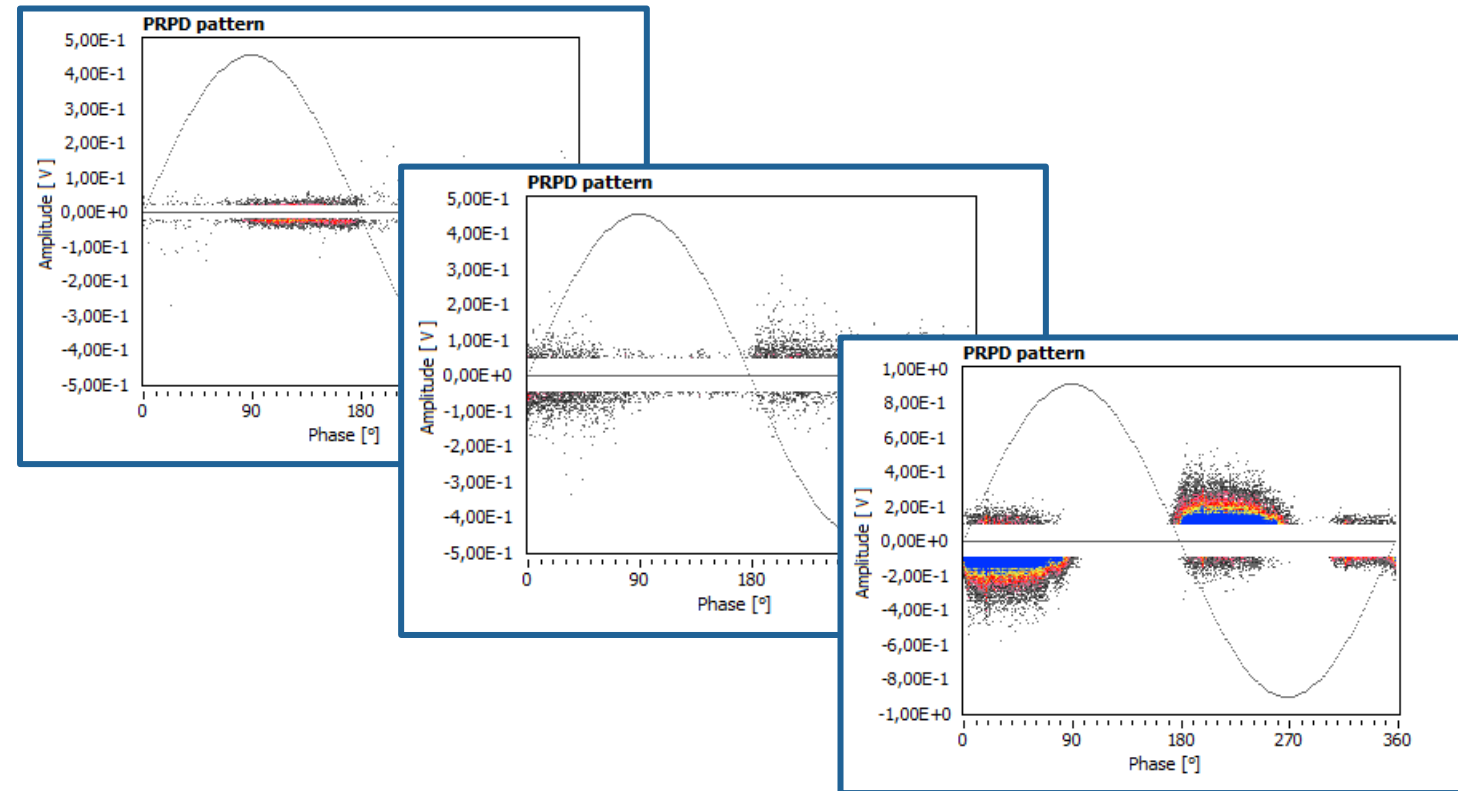


Analyse des DP

Ensemble des données

Pour chaque point de détection, il est fortement recommandé d'acquérir non seulement un modèle de PRPD pattern, mais également un ensemble complet de données comprenant:

- Différente amplitude (pleine échelle)
- Différent niveau de Trigger
- Acquisition des formes d'onde
- Avec et sans filtre passif
- Avec et sans filtre numérique (SW)

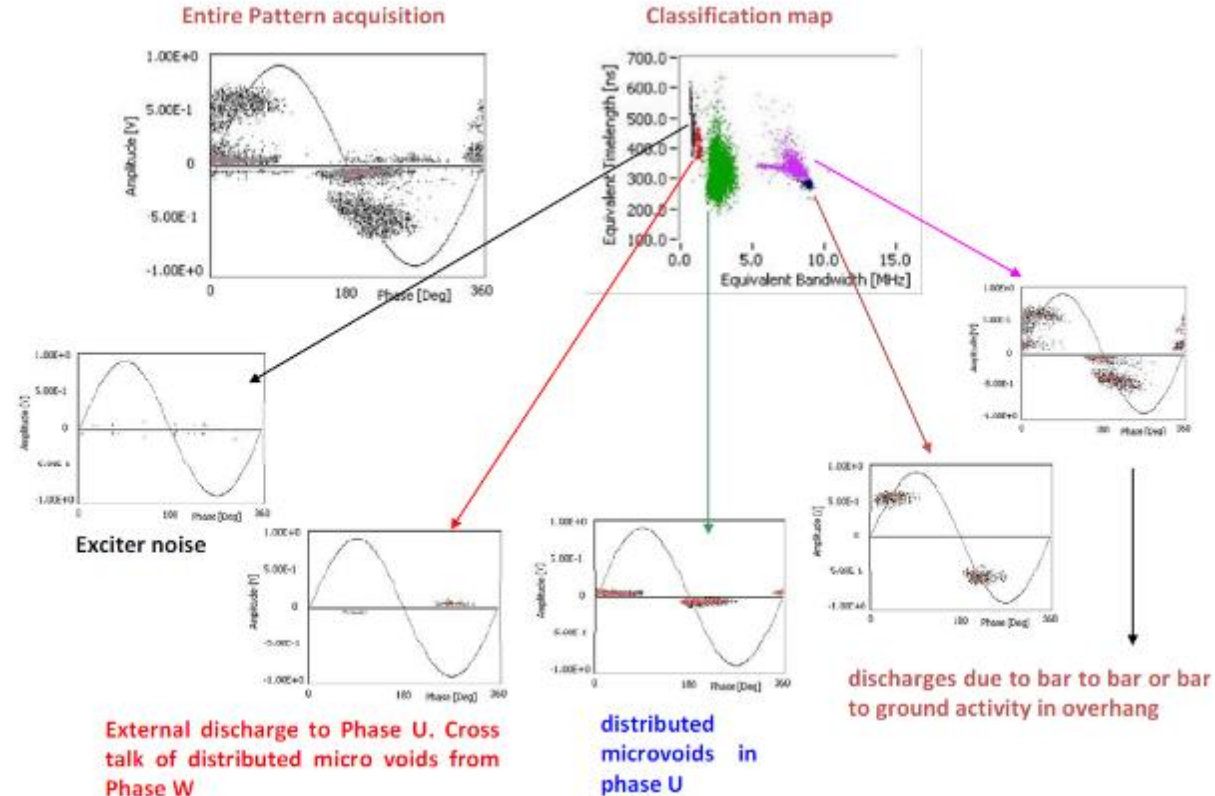


Idéalement, lors de l'analyse des données, l'ingénieur doit être en mesure de reconnaître chaque étape effectuée.

Analyse des DP

Séparation des phénomènes par la fonction TF-map

La représentation Temps-Fréquence « TF-map » est utilisée durant les phases d'acquisition afin de supprimer les signaux indésirables et séparer les différentes sources de décharges présentes durant l'acquisition



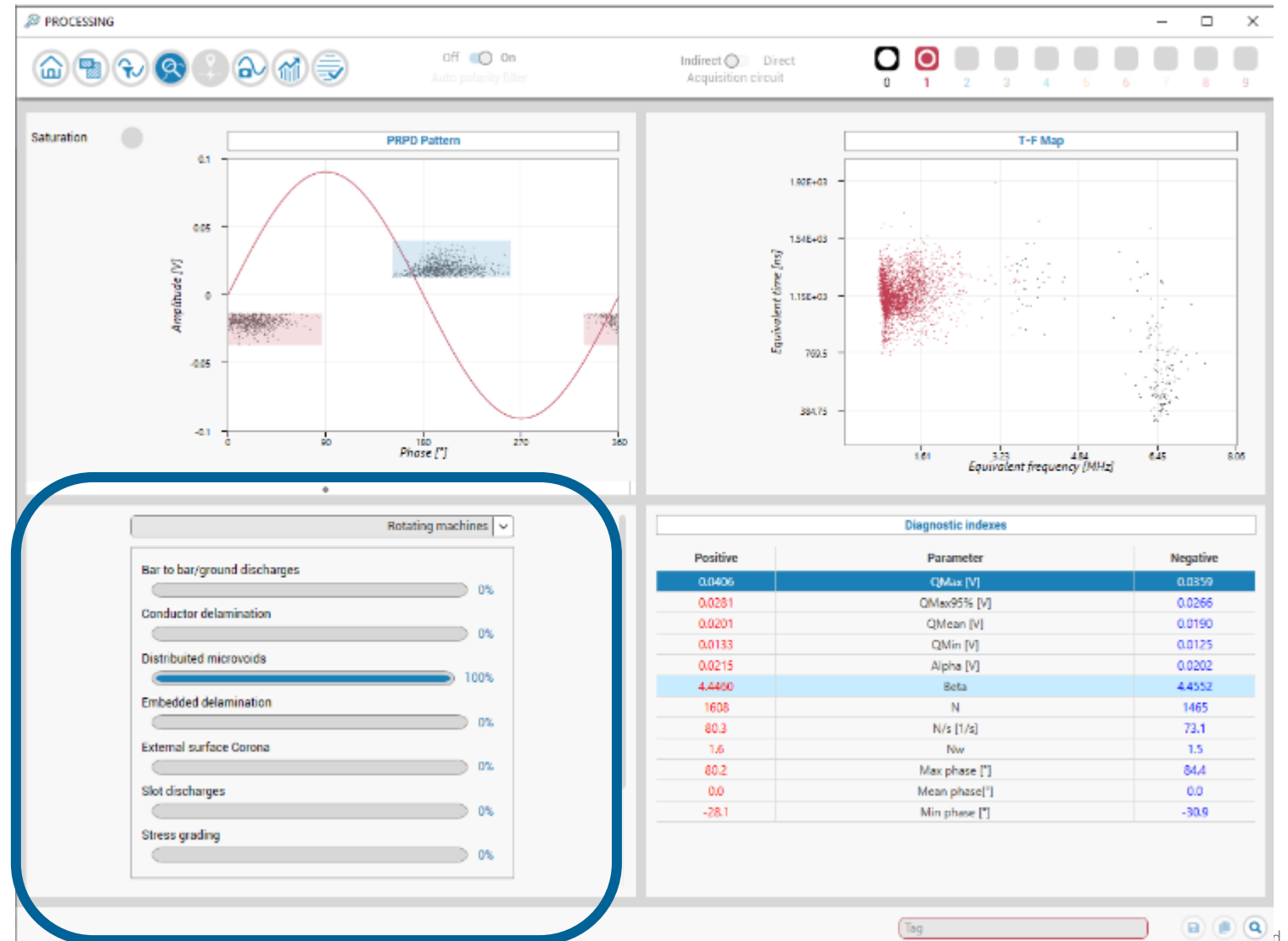
Analyse des DP

Identification des phénomènes

- Données acquises correctement,
- Bruit supprimé
- Phénomènes de DP séparés

L'identification des phénomène de DP peut être faite sur place:

- Manuellement avec l'analyse du PRPD pattern.
- Automatiquement avec l'outils PD Pro

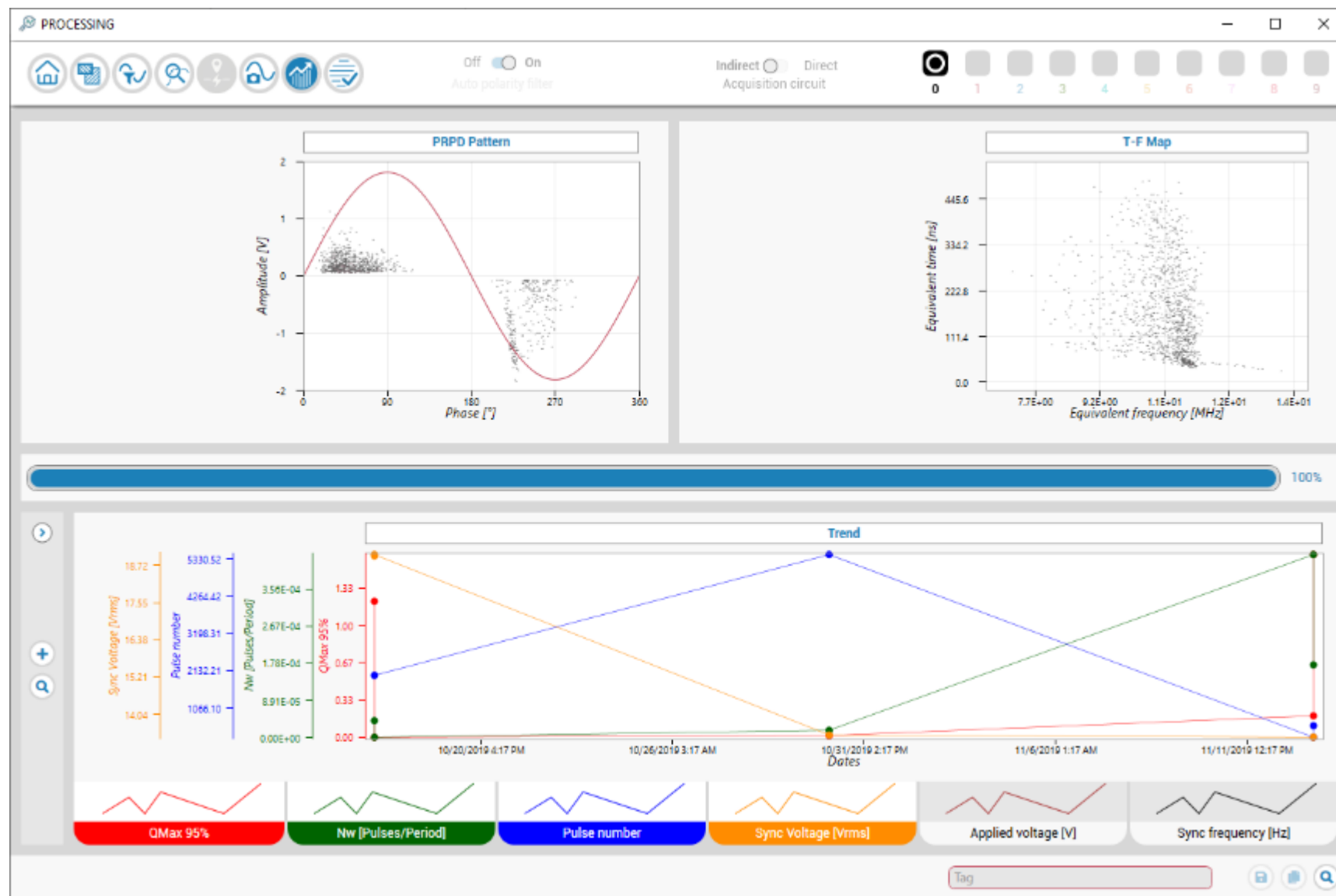


Analyse des DP

Tendance

L'amplitude et le taux de répétition sont des marqueurs de l'évolution des DP.

Nous pouvons avoir une DP qui restera à la même amplitude pendant plusieurs années ou qui évolue rapidement en amplitude et en taux de répétition.



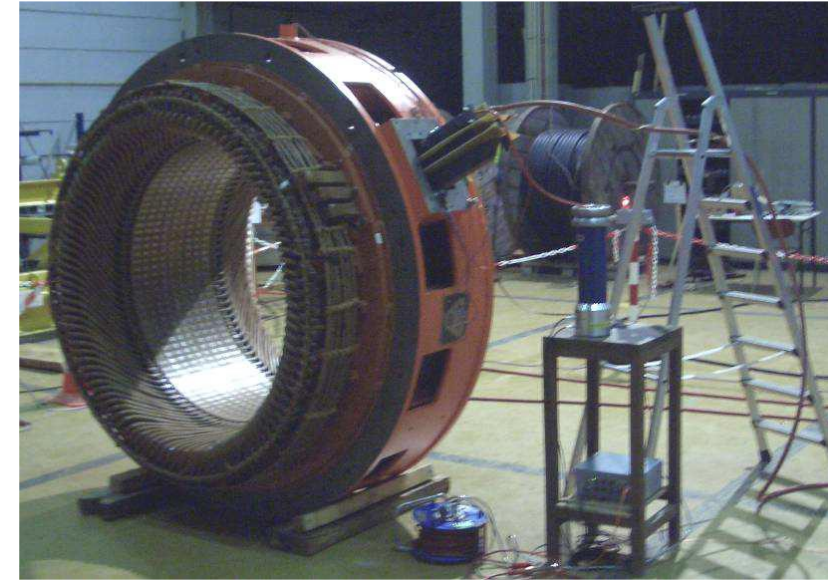
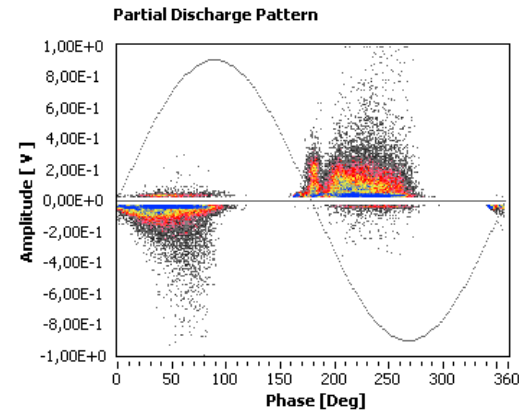


Etudes de cas

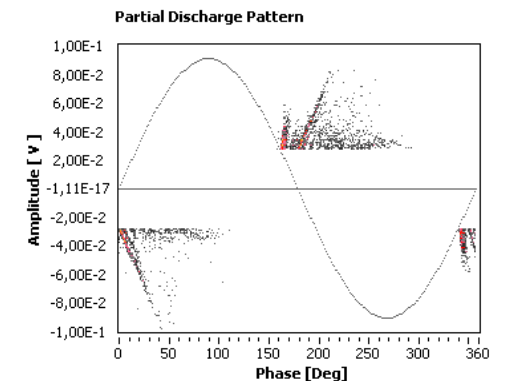
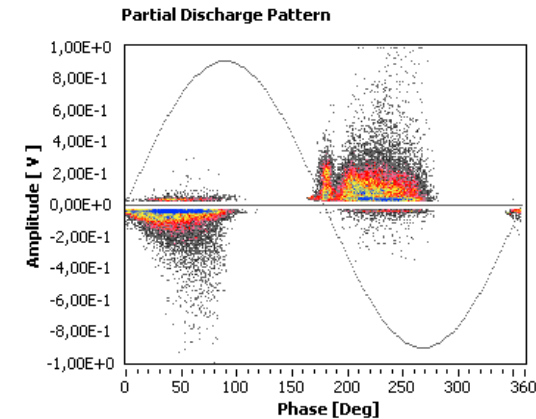
- Test d'un moteur en plateforme d'essai
- Test avec perturbation conduite
- Décharges d'encoche
- Perturbation électromagnétique «EMI»

Etude de cas

- Test en laboratoire
- Divers actifs, principalement machine tournante
- **Condensateur de couplage, HFCT**
- PDBASE II
- Opérateur: Client



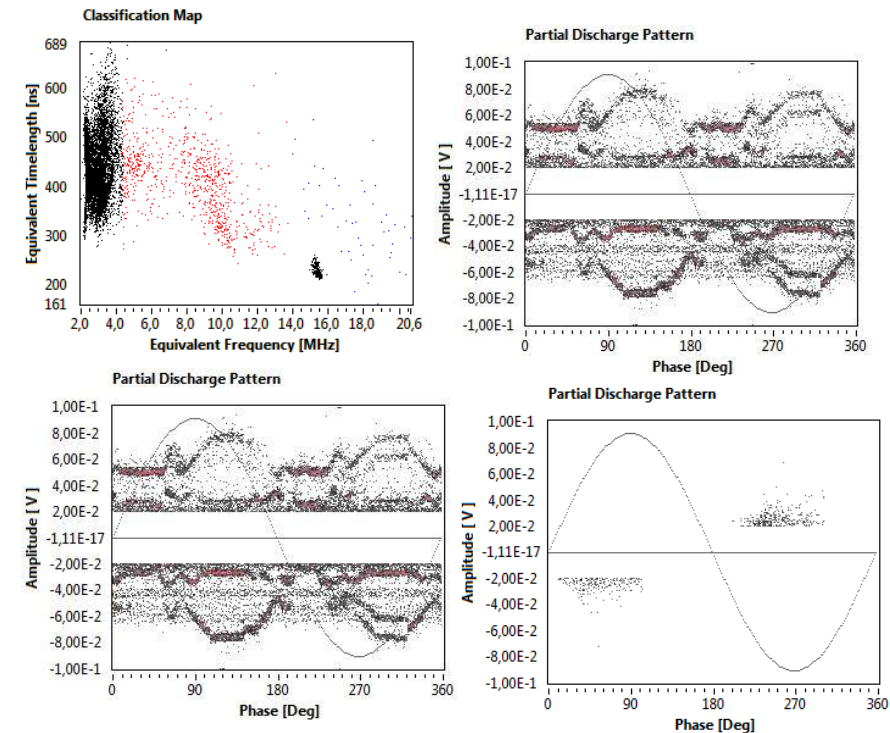
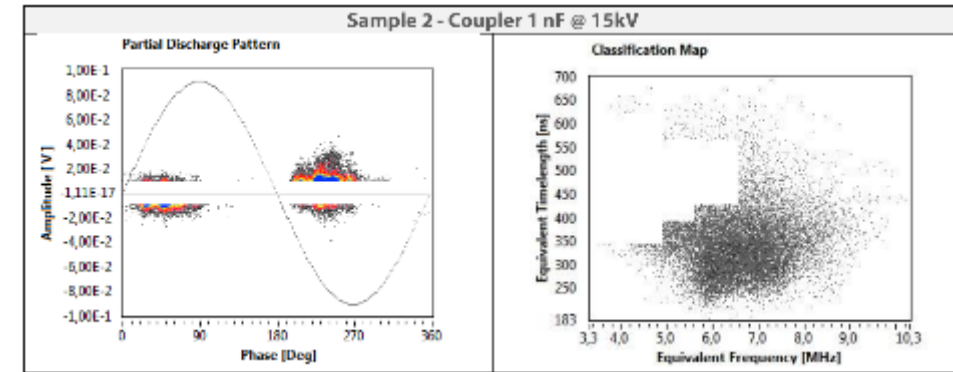
➔ Test conforme aux standards IEC



Etude de cas

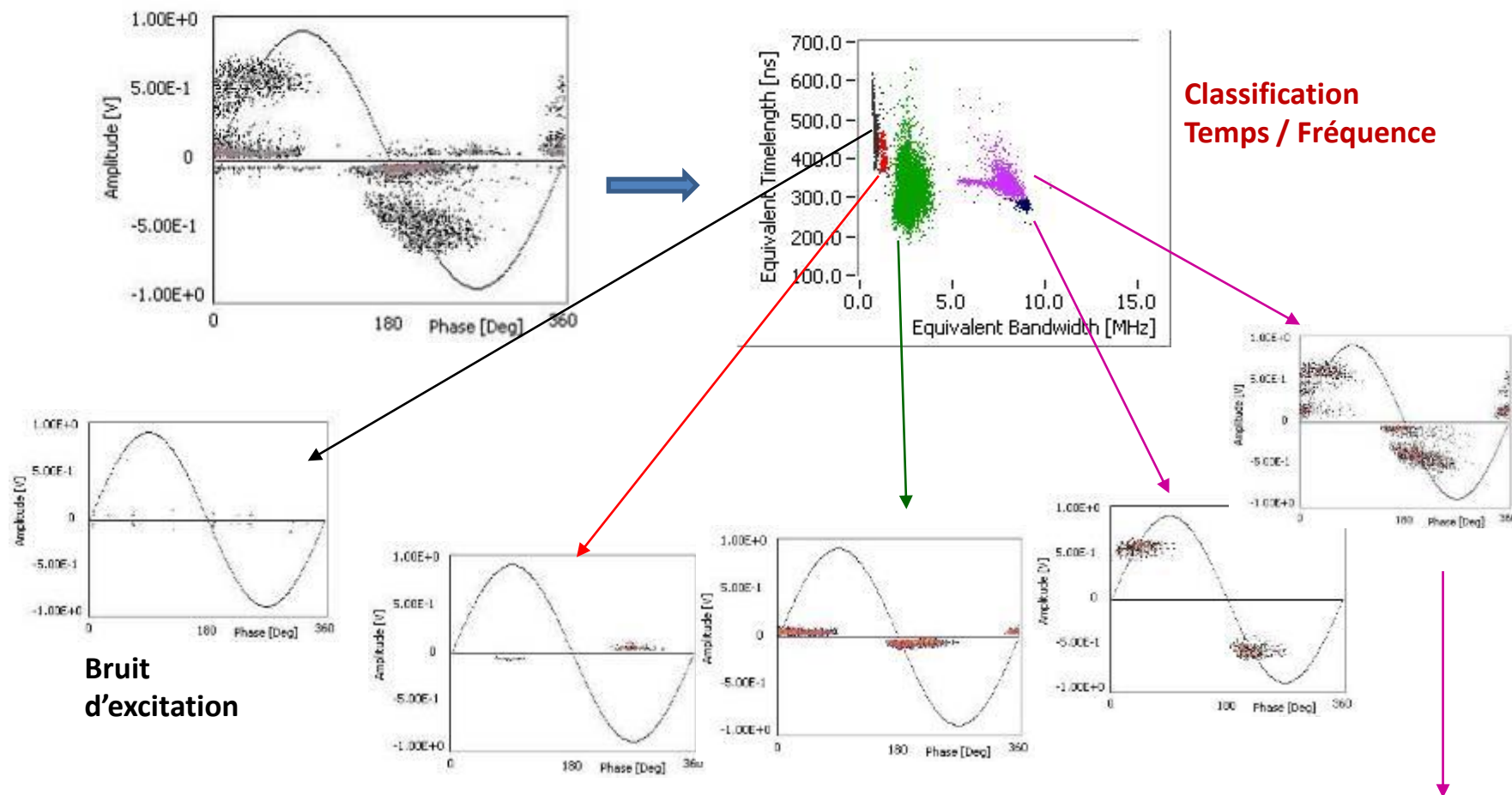
- Test en plateforme d'essai
- Moteur haute tension
- Condensateur de couplage

➔ Outils de séparation du bruit



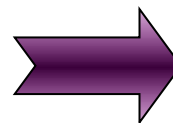
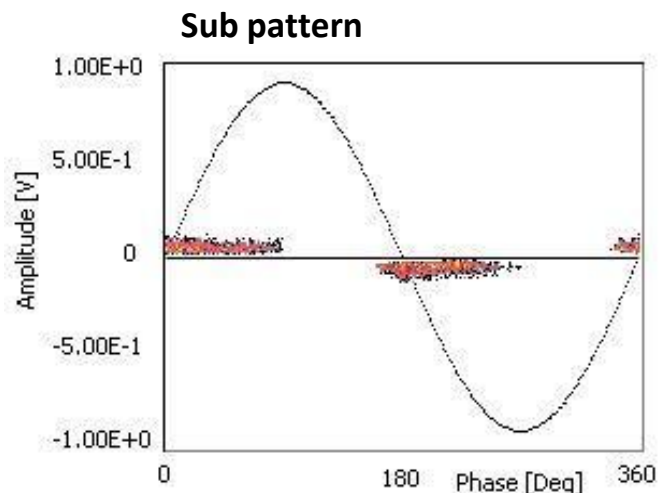
Etude de cas

Acquisition complète de la pattern

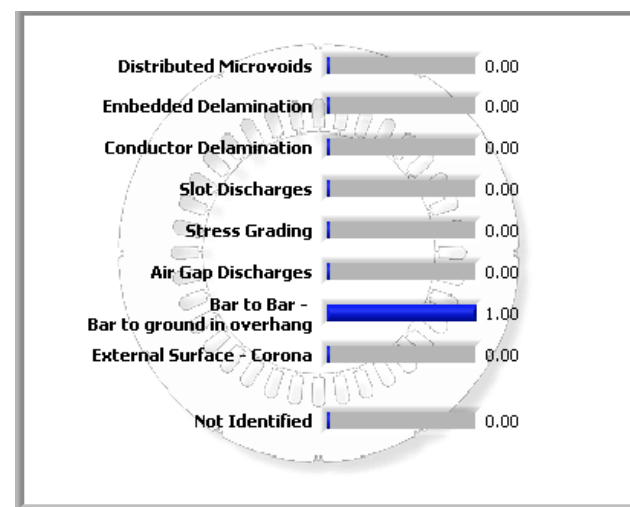
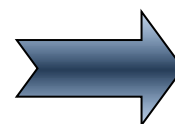
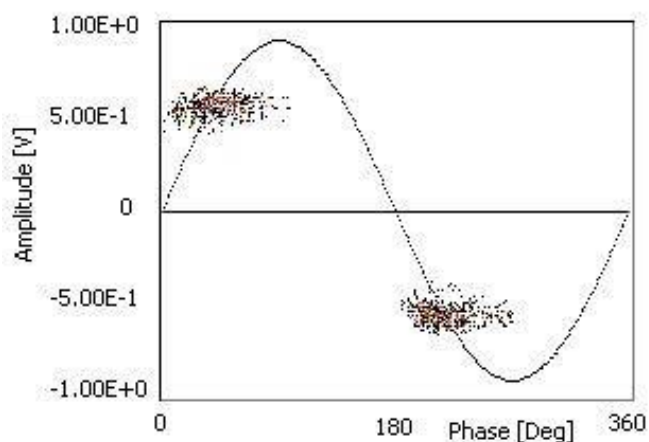
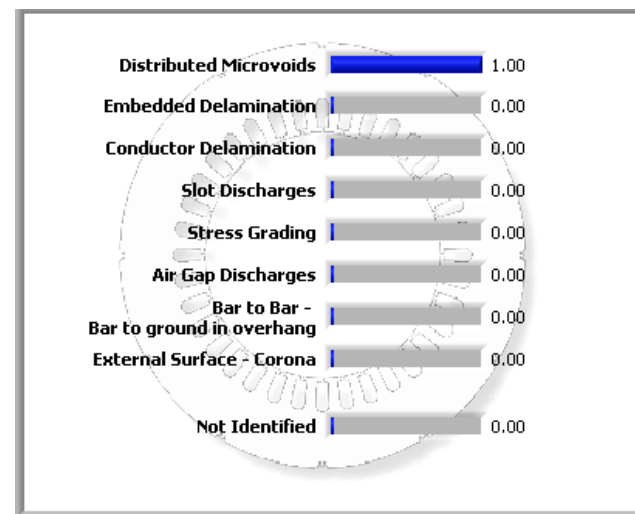


Etude de cas

Mesure de DP en service sur un générateur: Phase U

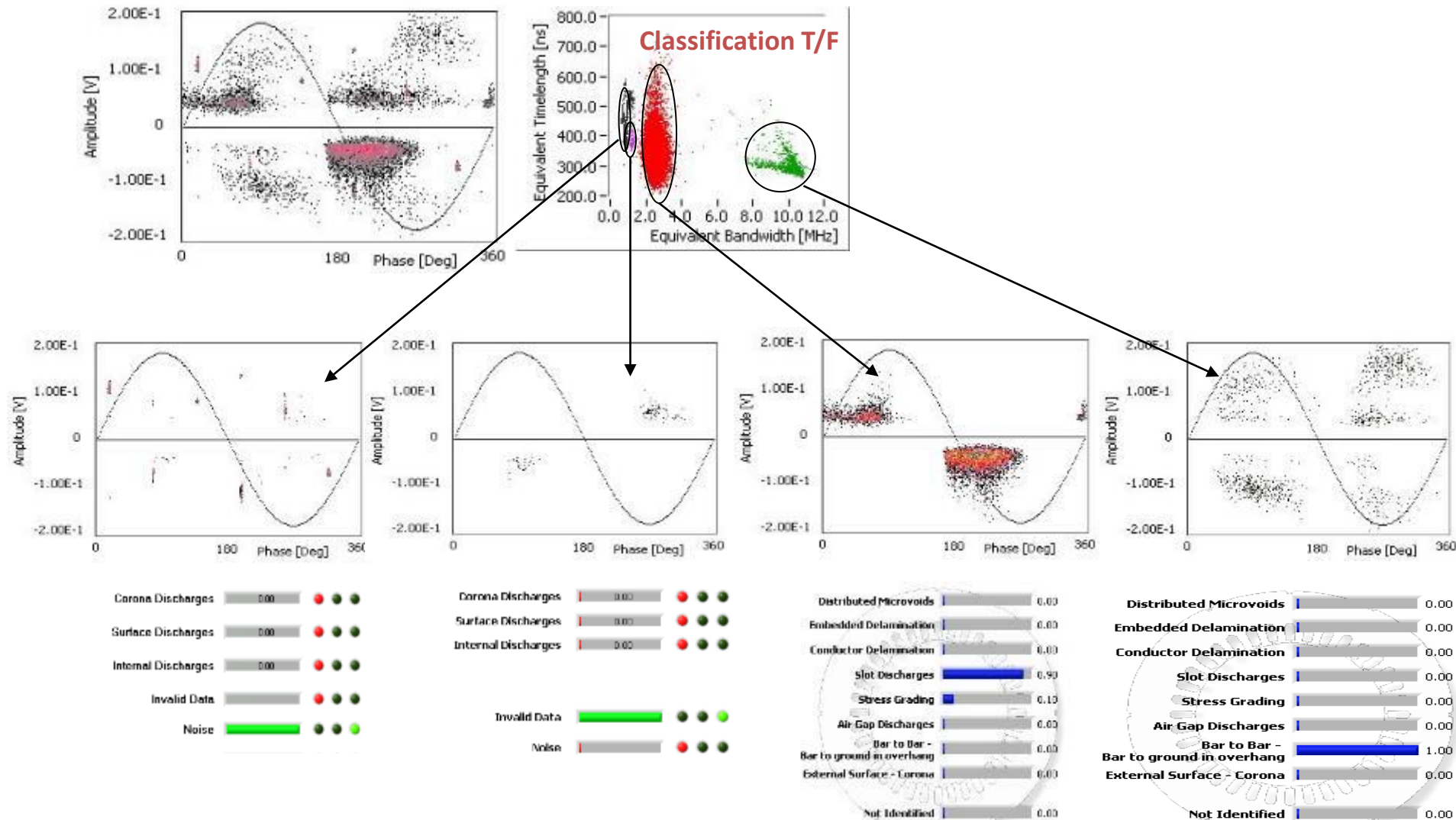


Niveaux d'identification



Etude de cas

Mesure de DP en service sur un générateur : Phase V



Etudes de cas

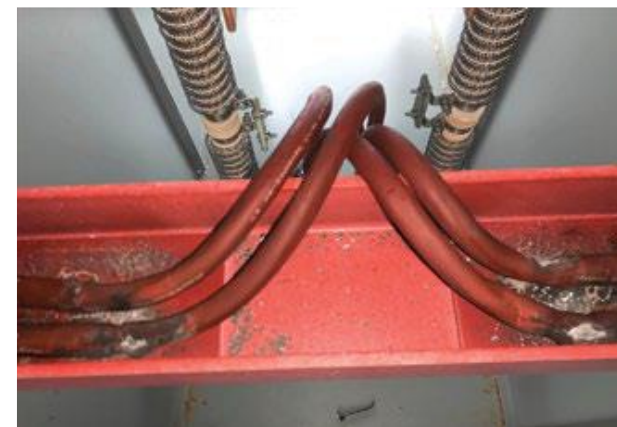
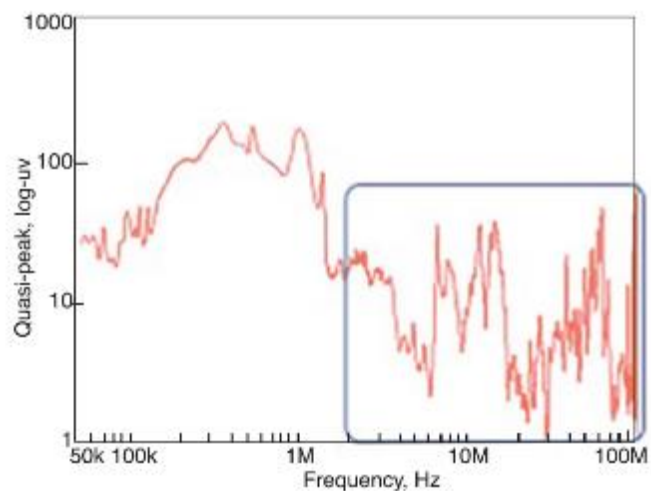
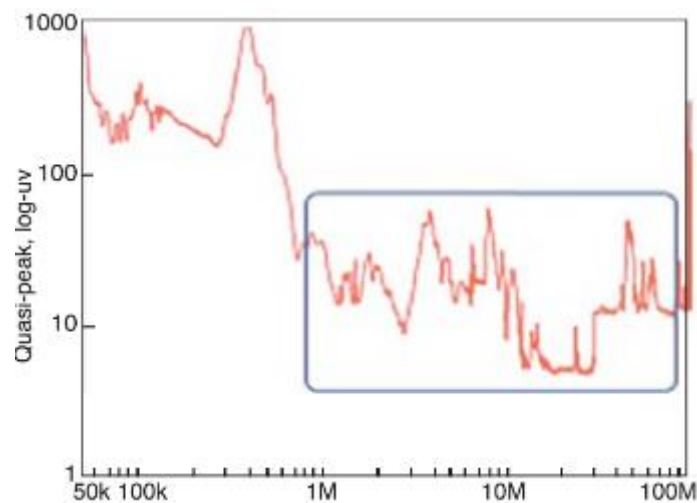
Inspection visuelle par endoscopie de l'alternateur



Des traces de décharges partielles ont été
trouvées dans 12 des 60 encoches.
7 traces blanches
8 traces suspectes

Etude de cas

Mesure des perturbations
Électromagnétiques «EMI»



ALTANOVA

A DOBLE COMPANY



Merci

Click to add text

Etienne DION
Ingénieur service
edion@doble.com