Traitement des données - CND

Jacqueline SALIBA
Jacqueline.saliba@u-bordeaux.fr

Introduction – Cours et évaluation

Å ***Composition du cours :***

- 7 Cours magistraux (1 heure 20 min)
- 6 Travaux pratiques (2 heures 30 min)

Evaluation :

Epreuve 1ère session	Durée	Coefficients
TP	-	0,4
Examen	1h30	0,6

Epreuve 2ième session	Durée	Coefficients
TP (report session 1)	-	0,4
Examen	1h30	0,6

Technique d’émission acoustique

Histoire. Fondamentales. Applications.

Plan

- Caractéristiques générales de l'émission acoustique
  - Le phénomène d'émission acoustique
  - Principales caractéristiques physiques

- Domaines d'application

- Mécanismes sources d'émission acoustique
  - Mécanismes associés à la déformation plastique
  - Mécanismes associés à la fissuration et à la rupture

- Instrumentation
  - Capteur
  - Conditionnement du signal
  - Traitement du signal

- Méthodes d'analyse en émission acoustique
  - Analyse d'évolution temporelle et statistique des salves
  - Localisation des sources (atténuation, dispersion, diffraction, couplageé)

- Conclusion

Motivation

Le suivi des structures par les méthodes de contrôle non destructives est un domaine d'ingénierie établi par deux motivations principales:

- La sécurité et l'augmentation des performances.

- Motivation commerciale et établissement d'une base pour les conditions de maintenance.

Questions communes pour la préparation de nouvelles méthodologies dôinspection

Å Quelles sont les conditions opérationnelles des structures, les redistributions des contraintes, les propriétés du matériau?

Å Quelles types de rupture se développent dans ces structures?

Å Comment établir un plan d'examination?

Å Quels types d'équipements et de procédure à utiliser?

Å Quelles méthodes d'analyse de données faut-il appliquer?

Contrôle des structures et les tests non destructive

Les méthodes d'analyse peuvent être divisées en deux parties :

Å les méthodes directes : les défauts sont examinées visuellement et analysées suivant des observations optiques (inspection visuelle ou traitement d'image…).

Dans ces méthodes, seulement une petite section de l'échantillon est examinée. Des régions inaccessibles restent toujours inconnues.

Å les méthodes indirectes : les défauts sont détectés par l'interprétation et l'analyse des données enregistrées sous forme de signaux (EA, rayon X, ultrasonique…).

Des sections complètes peuvent être analysées en étudiant les différents signaux dans leurs positions propres dans l'éprouvette (évaluation complète de l'endommagement dans les parties cachées).

Contrôle des structures et les tests non destructive

Les objectifs principaux des contrôles non destructifs dans les applications industrielles sont limités à:

- la détection
- l'évaluation des géométries et des orientations des défauts.

Les méthodes de contrôle non destructives traditionnelles ne peuvent pas être appliquées durant les opérations et sont inappropriées pour le suivi continu des structures.

EA et contrôle des structures

La technique d'EA vérifie uniquement le concept de contrôle des structures, dû à plusieurs avantages phénoménologiques.

- Le diagnostic de l'intégrale de structure en incluant la détection, la localisation, l'identification et l'évaluation des défauts durant l'opération normale de la structure.

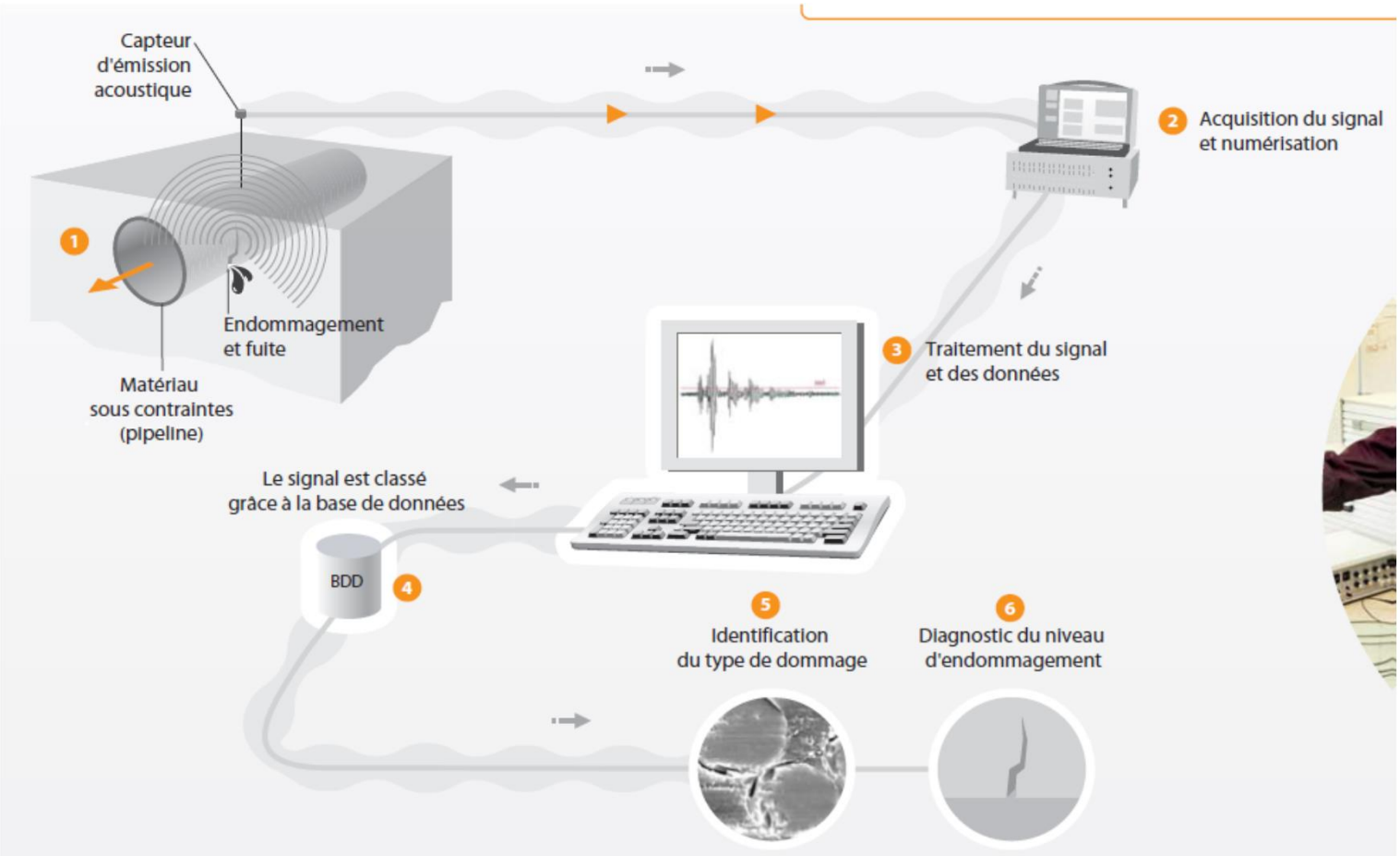
- Suivi continu ou périodique.

- Identification des conditions de l'opération qui provoquent l'initiation et le développement des défauts.

Historique

Technique d'émission acoustique

L'EA est un phénomène de libération d'énergie sous forme d'ondes élastiques au sein d'un matériau soumis à une sollicitation.



Emission acoustique

Matériau

Mise sous contrainte

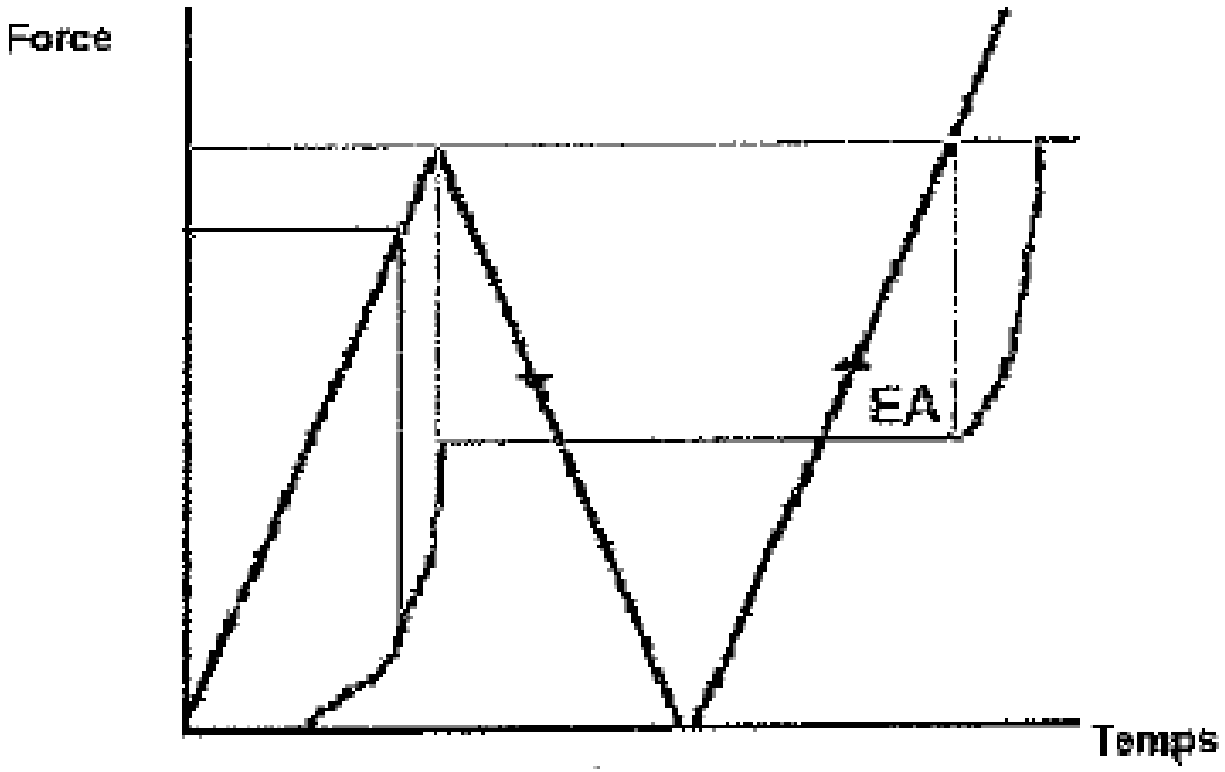
Système d'acquisition

Défaut évolutifs

Irréversibilité

Effet Kaiser

- L'effet Kaiser est l'absence des signaux d'EA détectable pour un niveau de sensibilité fixé, jusqu'à ce que le niveau de contrainte appliqué précédemment est dépassé (ASTM E1316: 2010)



Historique de lôEA

- Le phénomène dôEA est connu depuis longtemps sous sa forme audible.

- 1917 Czochralzki rattache le cri de lôétain au maclage

- LôEA nôa fait lôobjet dôaucune étude sérieuse avant les travaux de Kaiser entrepris en 1950. Depuis lors, lôévolution a été très rapide.

Les résultats de ses études étaient lôobservation de lôirréversibilité du phénomène qui est connu sous son nom (effet Kaiser).

- Bradford H. Schofield in 1954 ont poursuivi les travaux de Kaiser aux Etats-Unis. Ils ont étudié lôapplication de lôEA dans le domaine de lôingénierie des matériaux et les sources dôEA.

Historique de lœEA

1975: Nombreuses études de faisabilité pour des applications industrielles (surveillance offshore, soudage, fuite..)

1978: Homologation de la méthode par les autorités de sureté pour la surveillance de l'étanchéité du circuit primaire des centrales nucléaires françaises lors des épreuves hydrauliques (EDF-CETIM).

1980 à 1985 : extension de la technique à de nombreux domaines autres que le contrôle non destructif des matériaux métalliques:

- Investigation physique des matériaux
- Surveillance en service
- Surveillance des machines tournantes
- Surveillance de fabrication
- Contrôle et évaluation des matériaux composites

Développement des normes en France (AFNOR), aux Etats-Unis (ASTM ASME-CARP), en Europe (EWGAE), au japon (JSNDI) et de nombreux congrès.

Science de lœEA

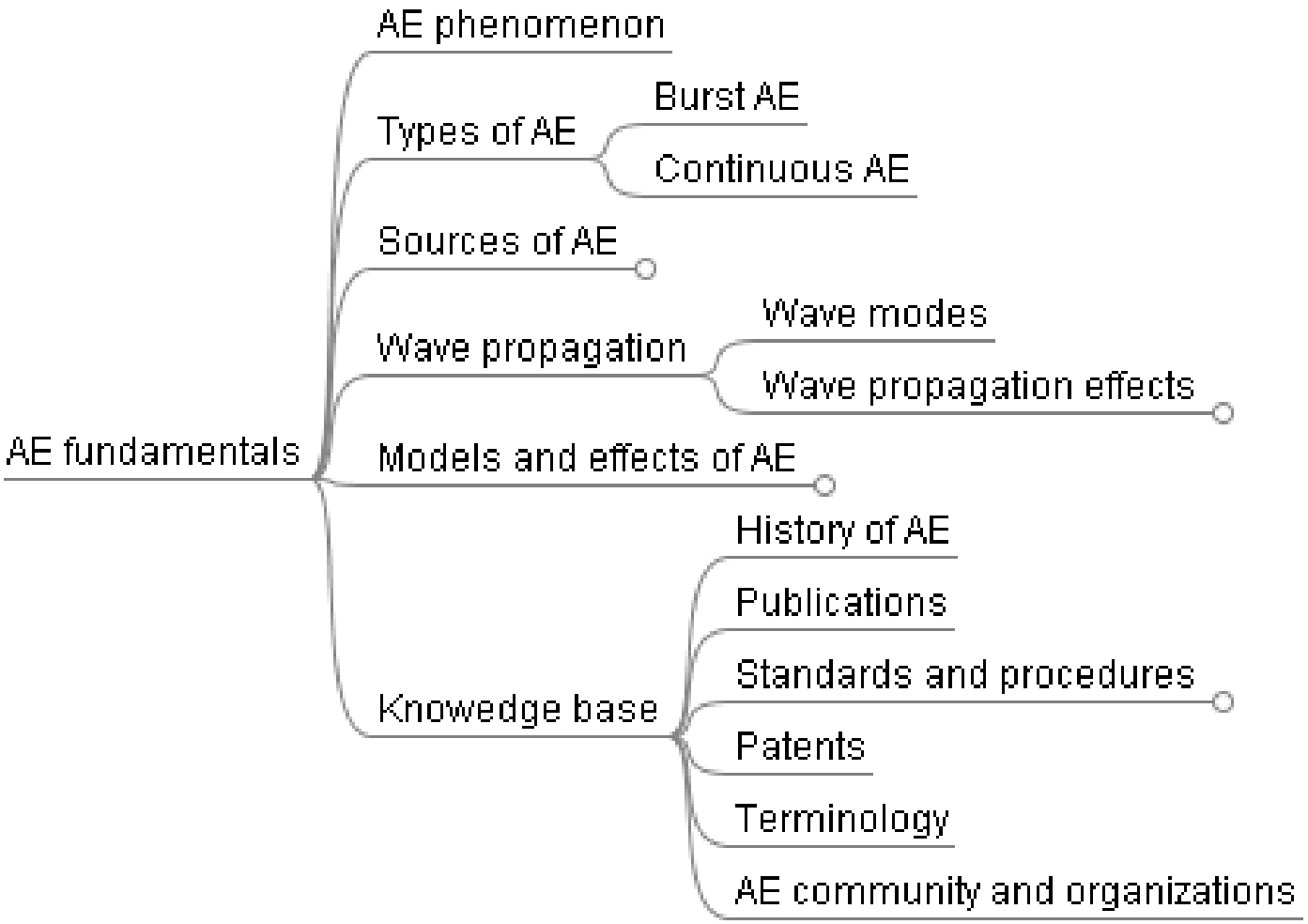
La science d'EA peut être divisée en deux parties principales : théorique et technologique.

Å La partie théorique inclue les bases de l'émission acoustique et la science des matériaux.

Å La partie technologique peut être divisée en trois parties principales: les dispositifs, les applications et les méthodes d'analyse des données.

Bases de lôEA

Les bases de la technique d'EA incluent 6 points:



Le phénomène dôEA.

Les types dôEA.

Les sources dôEA.

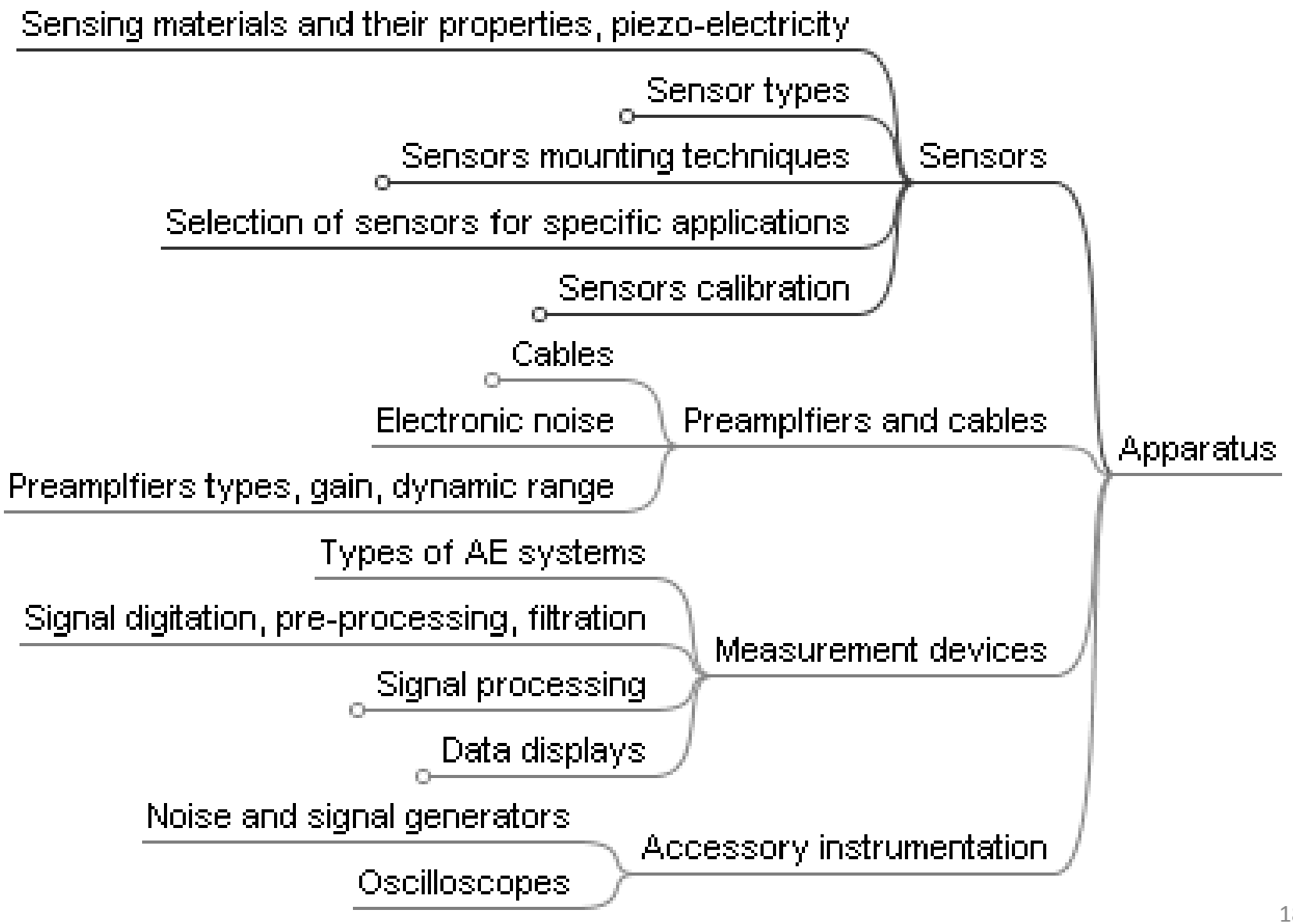
Propagations des signaux.

Les modèles et les effets dôEA.

Connaissance de base.

Les bases de l'EA doivent être étudier après avoir appris les sciences de matériaux, la mécanique de rupture, la propagation des ondes, et le comportement dynamique des matériaux.

Dispositifs dÕEA



Domaine d'application de l'EA

Essais de laboratoire

Å Etude de matériaux	Mécanique de rupture Fatigue Corrosion…

Contrôles Industriels

Å Elaboration du matériau	Solidification Traitements thermiques
Å Processus de fabrication	Soudage Traitement thermique Qualification
Å Contrôle en service	Requalification Surveillance périodique Surveillance continue

Applications

Matériaux et structures dans le transport

Lôindustrie du transport représente de nos jours un des secteurs les plus dynamiques et exigeants en terme de sécurité et de performance des matériaux. LôEA permet aux acteurs de ce secteur d'activité de maintenir et développer leurs avantages concurrentiels

Domaines d'application :

ÅAutomobile,
ÅFerroviaire,
ÅAéronautique et spatial,
ÅNaval

Équipements et installations industrielles

L'EA permet un contrôle continu ou périodique des structures industrielles pour détecter et suivre les endommagements sévères et irréversibles (fragilisation, vieillissement, corrosion, décollement des assemblages, fissuration et rupture...).

Domaines d'application :

· Contrôle des structures porteuses,
· Contrôle et surveillance de la corrosion,
· Transport et stockage de produits chimiques et pétrochimiques,
· Détection et localisation des fuites.

Ouvrages d'art

L'utilisation de chaînes d'émission acoustique multivoies permet un contrôle global en temps réel, fiable et rapide, des ouvrages d'art.

Domaines d'application :

· Auscultation et surveillance des câbles d'ouvrages d'art,

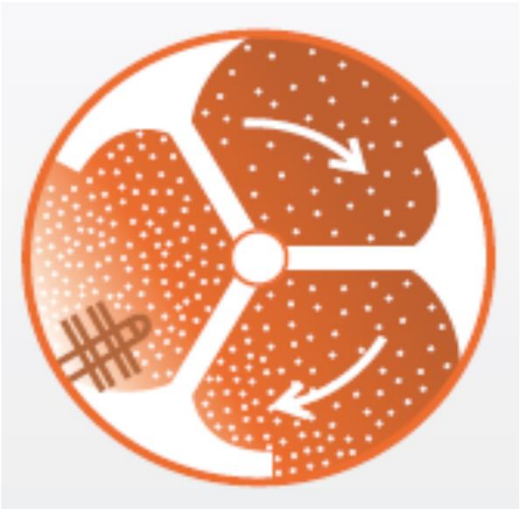
· Contrôle par émission acoustique de la microfissuration et fissuration des structures en béton,

· Contrôle et surveillance des structures composites carbone utilisées pour la réparation des ouvrages d'art...

Procédés de fabrication

L'LEA permet une mesure des ondes acoustiques adaptée aux spécificités des procédés industriels.
Le but est d'améliorer la qualité du produit à travers une mesure et un diagnostic permettant l'augmentation de la productivité et une réduction des coûts de production.

Domaines d'application :
· Pharmacie : principes actifs, excipients...
· Agro-alimentaire : dextrose, sucres, farines, cacao...
· Production : contrôle en ligne des pièces défectueuses,
· Industrie chimique : résines, PTFE...



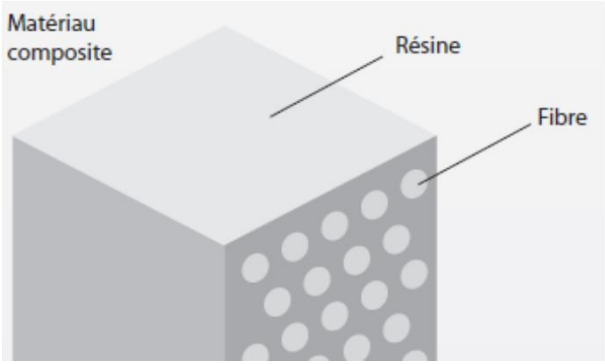
Corrosion

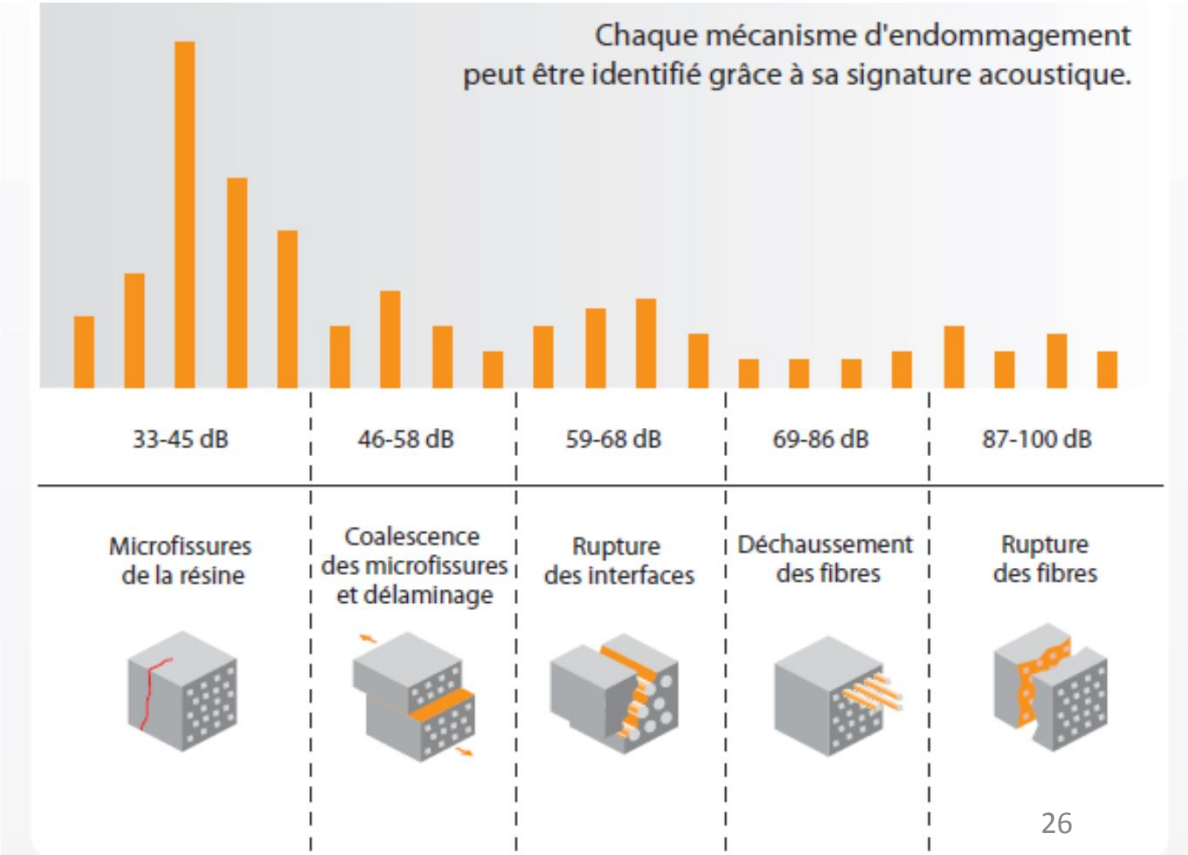
L'émission acoustique appliquée aux problématiques de la corrosion permet la détection, la localisation, et le suivi des phénomènes de dégradation des métaux.

Domaines d'application :
ÅContrôle et surveillance des décollements de revêtements,
ÅUtilisation conjointe de l'émission acoustique avec les méthodes de protection usuelle (protection cathodique).

Recherche et développement

Avec le temps, l'utilisation de cette technique est passée du stade du laboratoire à celui de l'industrie. Chaque mécanisme d'endommagement a été volontairement isolé et sa signature acoustique identifiée.

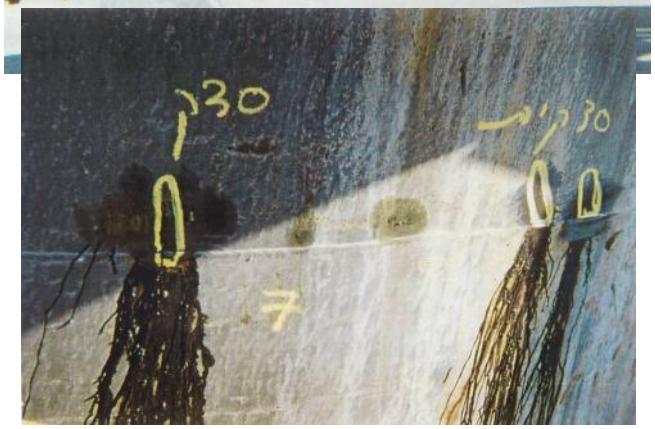




Exemple

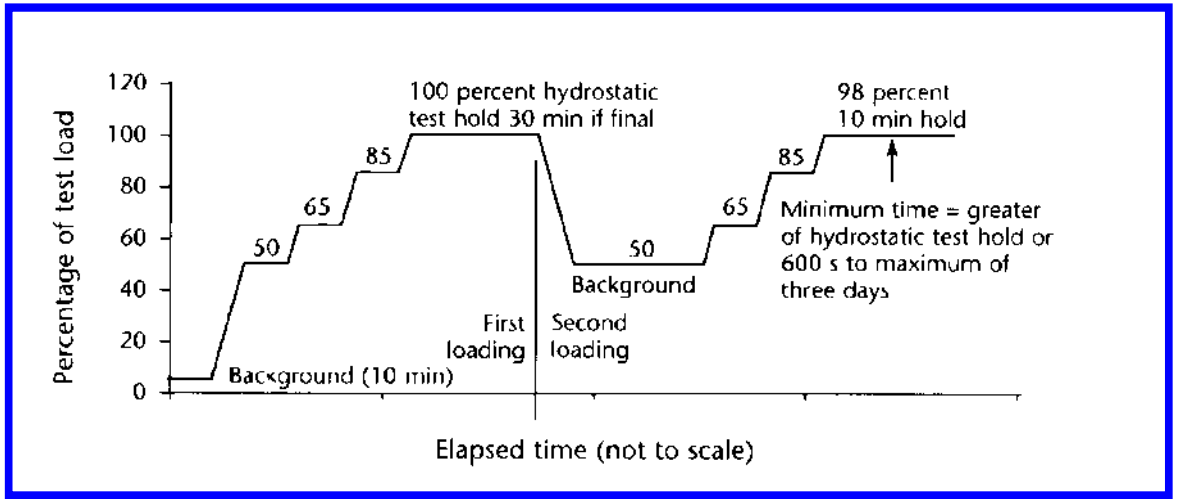
En phase de développement, l'application de cette technique pour la structure porteuse d'un train à grande vitesse a permis d'identifier les zones de fragilité pour mieux les dimensionner.

Essais dŒA sur des réservoirs sous pression

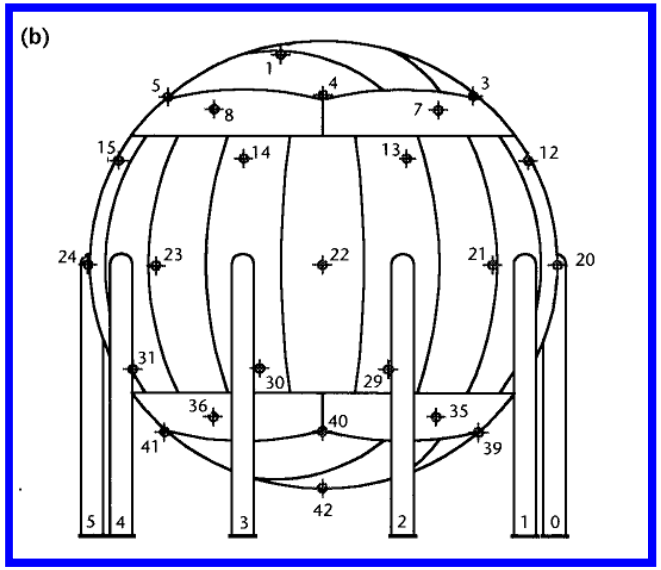


Essais dÊA sur des réservoirs sous pression

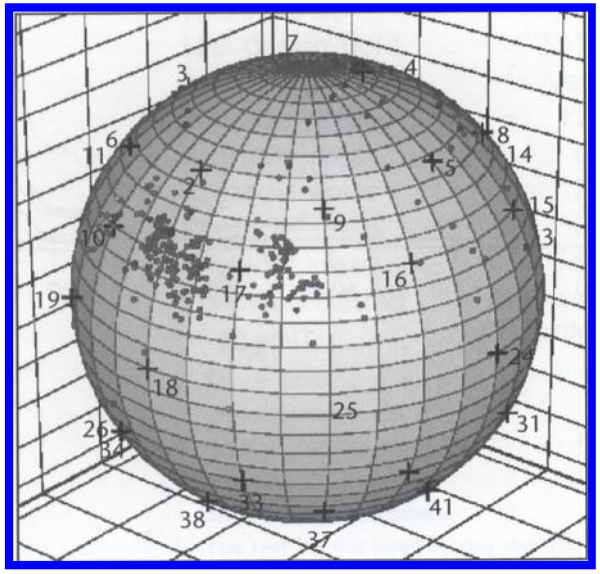
Essais dŒA sur des réservoirs sous pression



Pressure Policy for a New Vessel

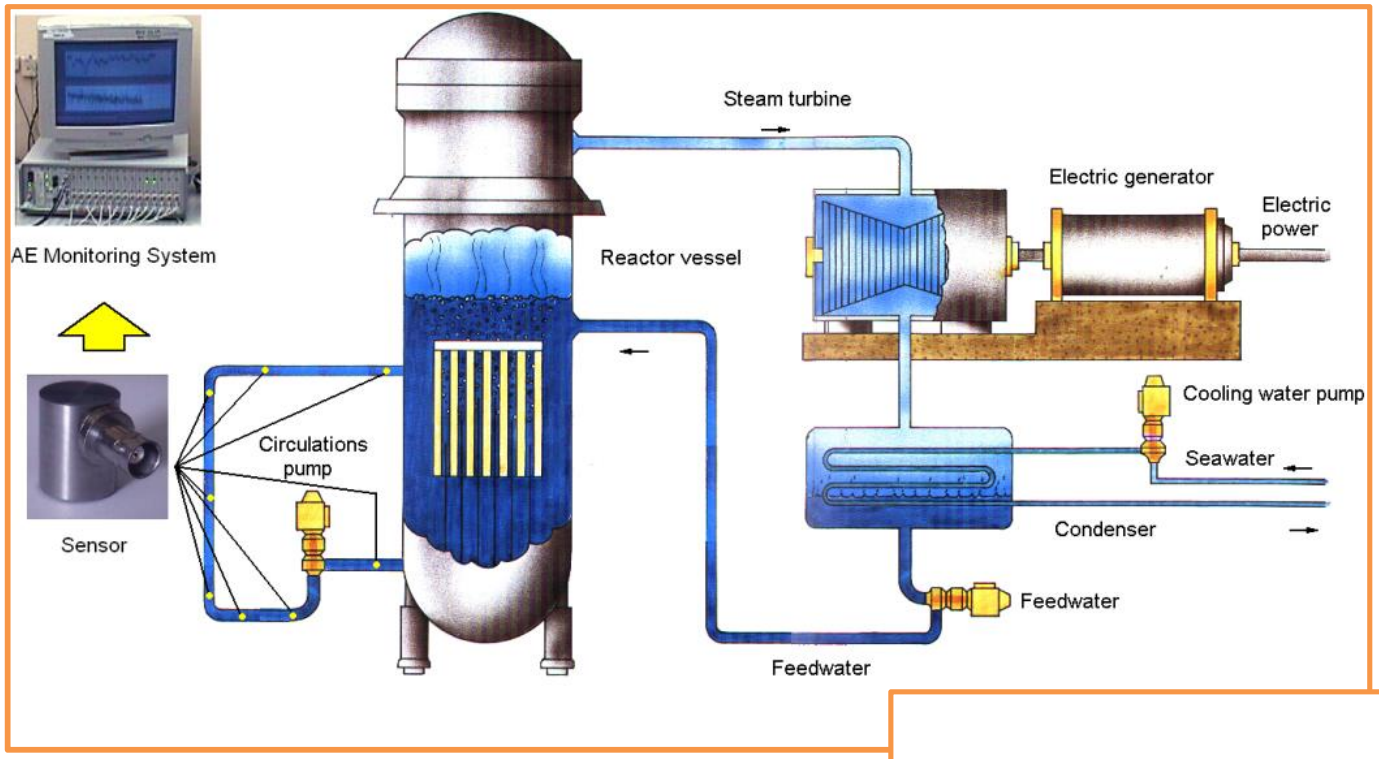


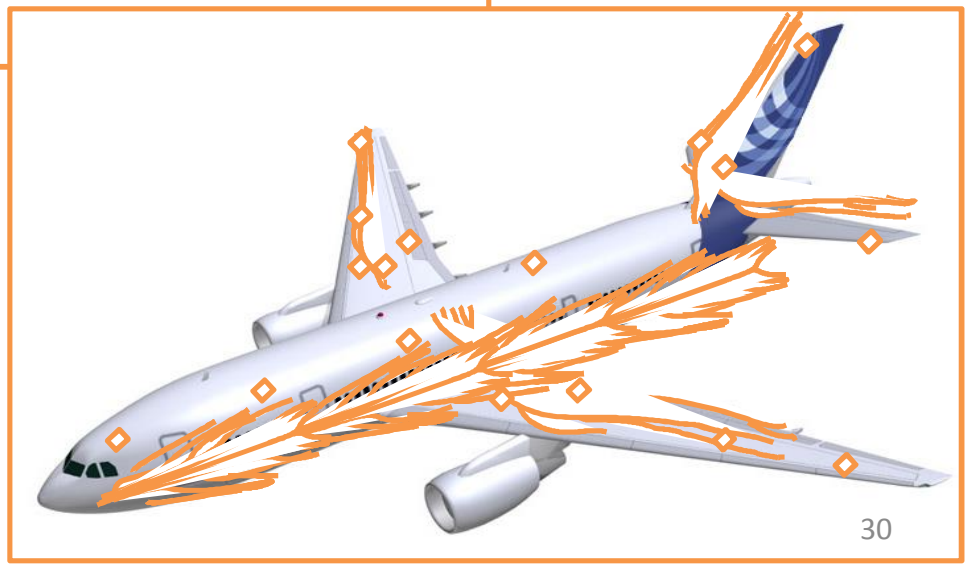
Example of Transducers Distribution on Vessel's Surface



Typical Results Representation of Acoustic Emission Testing

Applications





Limitations / Avantages

Limitations

a) La pièce doit être mise sous contraintes ou en service
b) Le capteur doit être en contact ou couplé acoustiquement à la pièce
c) Sensible uniquement aux défauts évolutifs
d) Ne peut déterminer ni la taille ni la géométrie des défauts
e) Sensible aux interférences mécaniques et électriques
f) Irréversible

Avantages

- Sensibilité élevée
- Détection en temps réel
- Surveillance continue
- Détection à distance
- Sensible uniquement aux défauts évolutifs
- Méthode globale
- Rapidité
- Irréversibilité
- S'applique à tous les matériaux

Les bases de suivi des structures à l’aide de la technique d’EA

Termes et Définitions

- *Le suivi des structures* est un processus de diagnostic et de suivi des conditions de structures qui sont normalement en performance durant leur opération .

- *Diagnostic* est un processus de détection, d'identification et d'évaluation des défauts et des propriétés ou des conditions qui affectent ou peuvent affecter la sécurité ou la performance des structures dans le futur .

- *Diagnostic EA* – est une méthodologie d'EA capable de réaliser des buts de diagnostic.

- *Surveillance* – est un processus de suivi des changements dans les conditions des structures.

Termes et Définitions

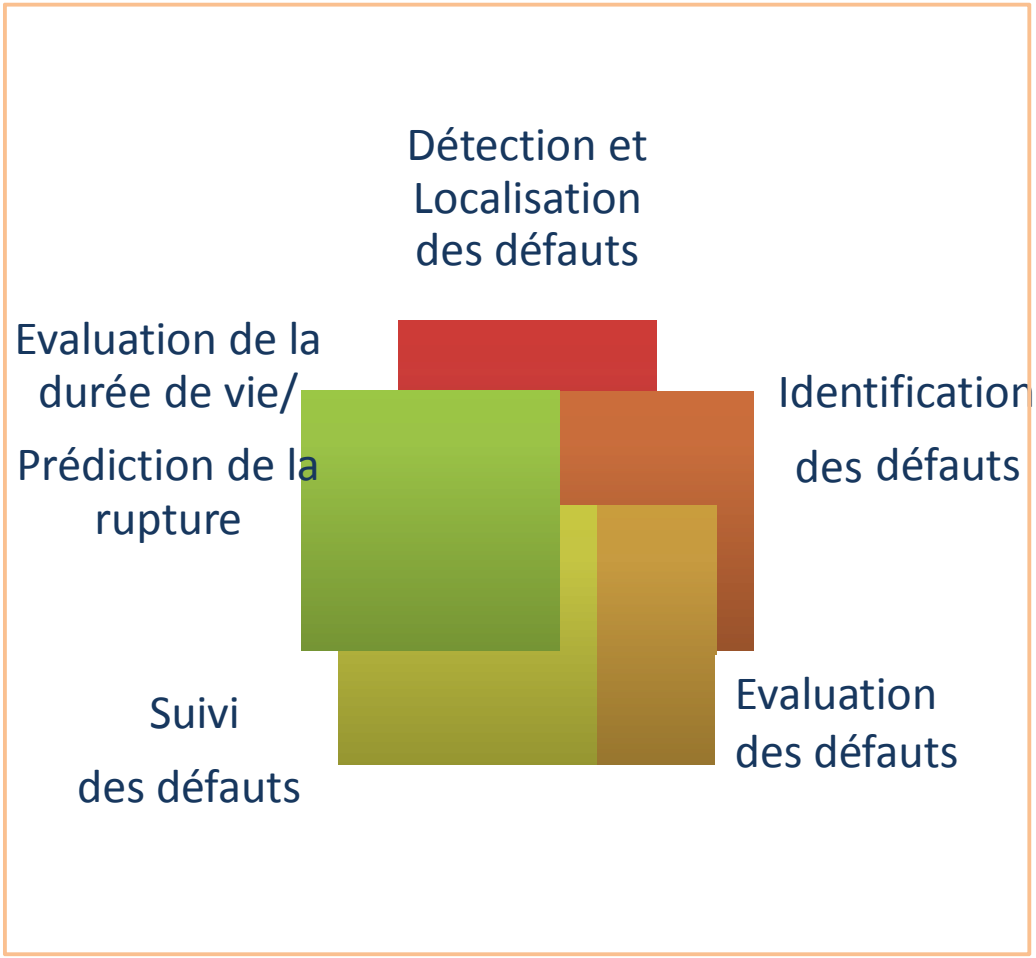
- *Défaut* – est une imperfection ou une discontinuité qui peut être détectée par les mesures ou essais non destructifs et qui n'est pas nécessairement rejetable [ASTM E1316].

- *Erreur* – une condition anormale ou défection dans le matériau, l'équipement, ou au niveau du système qui peut amener à la rupture [ISO/CD 10303-226].

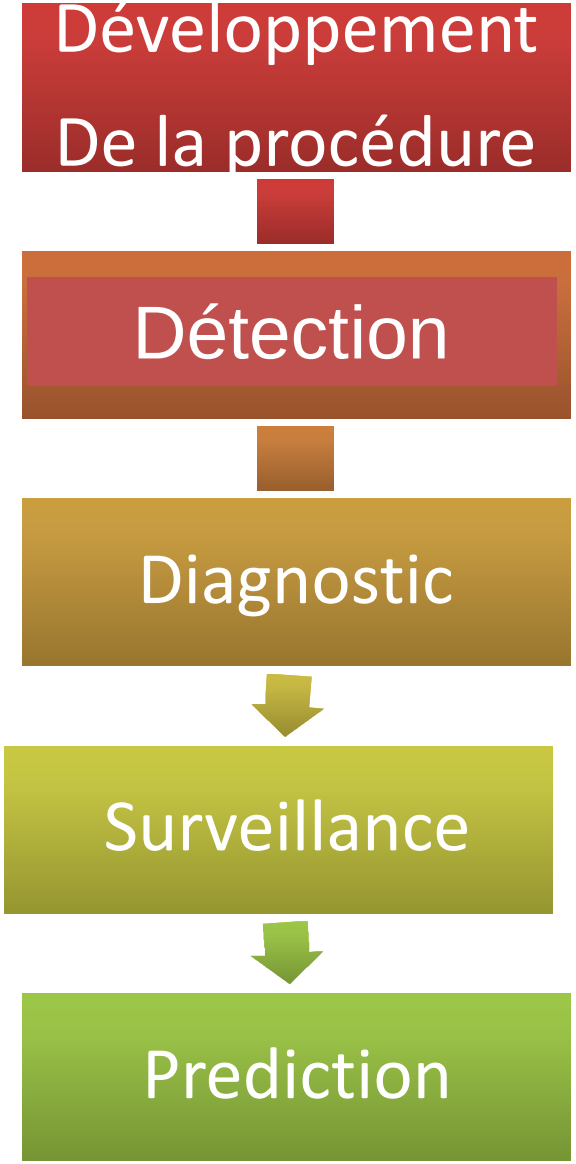
- *Prédiction* – un processus d'estimation de détérioration du défaut possible dans le future, basé sur les résultats de diagnostic, de suivi et ou modélisation numérique.

Le suivi des structures combine les éléments de contrôle non destructif, les conditions et processus de suivi, l'analyse statistique multi variable et la modélisation physique.

Objectifs du suivi des structures



Processus du suivi des structures



Analyse des données

Recommandations

Développement de la procédure

Le développement de nouvelles applications de contrôle des structures par EA est essentiellement *basé sur un processus d'apprentissage*. Ceci inclue la collection et l'analyse des informations à propos de:

- Propriétés des matériaux.
- Conception des structures, l'histoire des opérations, la réparation et les résultats des inspections précédentes.
- Les chargements appliqués, les conditions opérationnelles et environnementales.
- Les défauts typiques à détecter, l'évaluation et le suivi.
- Les caractéristiques d'EA des défauts à détecter, l'évaluation et le suivi.
- Les caractéristiques de propagation des ondes dans le matériaux et la géométrie des structures à inspecter en incluant les modes de propagation, l'atténuation, la dispersion, la diffusion et d'autres caractéristiques.
- Les instruments d'EA doivent être appropriés pour l'application particulière.

Détection

La détection est un processus de mesure des données.
Il inclue les mesures d'EA ainsi que les données des paramétriques comme la pression, la température, la déformation et d'autres selon le développement de la procédure de contrôle des structures.

Il y a plusieurs aspects important à tenir en compte durant la phase de détection.

• Vérifier que les données collectées durant le processus d'acquisition des données sont validées et peuvent être utilisées avec satisfaction pour les buts définis dans le développement de la procédure de contrôle.
Si ce n'est pas le cas, des mesures additionnelles avec différents dispositifs ou chargements, opérations et/ou conditions environnementales peuvent être nécessaire.

•Evaluer expressivement les conditions de la structure en se basant sur les données mesurées pour des conditions majeurs et qui peuvent menacer la structure immédiatement ou à un court terme.

Diagnostic

Le diagnostic est lôun des buts principaux du contrôle. Côest un processus de détection, dôidentification et dôevaluation des défauts dans une structure ou système.

Pour atteindre ces objectifs, des efforts de développements spéciales sont nécessaire comme les recherches sur le matériaux, la modélisation numérique, pour établir la figure du diagnostique le plus correcte en tenant en compte les conditions de la structure examinée.

- Le diagnostic est l'identification de la nature des défauts soit par un processus d'élimination, soit par d'autres méthodes analytiques
- Le diagnostic est réalisé en se basant sur les données collectées en utilisant des méthodes statistiques multivariables.

Surveillance

La surveillance est essentielle pour lœvaluation du :

ÅTaux de développement des défauts.
ÅLôintervalle dôinspection répétitive suivant.
ÅDistinction entre le développement et le non développement des défauts.

La surveillance est réalisée périodiquement ou continuellement en fonction des applications particulières.

Prediction

Les objectifs de prédiction sont :

Å Identification de la durée de vie du matériaux ou de la structure

Å Définir un processus de réinspection ou de suivi approprié basé sur le diagnostic et les données acquises par le suivi

La prédiction est normalement réalisée en se basant sur les résultats des diagnostics, des suivis et en conjonction avec toutes les informations à propos de la structure, son histoire et tous les facteurs de risque mesurables ou non.

Principes Physiques de la technique d'EA

Classification de lœEA

Classes EA: matériaux et mécaniques

Dimension des sources EA : macro- et micro-scopique

Types EA: discrète et continue.

Importance **/apparition :** primaire et secondaire.

Sources dÕEA

Å Mécanismes de déformation plastique,

Å Mécanismes de rupture,

Å Transformation de phase,

Å Fragilisation par hydrogène,

Å Corrosion,

Å Frottement,

Å Impacts mécaniques,

Å Fuites,

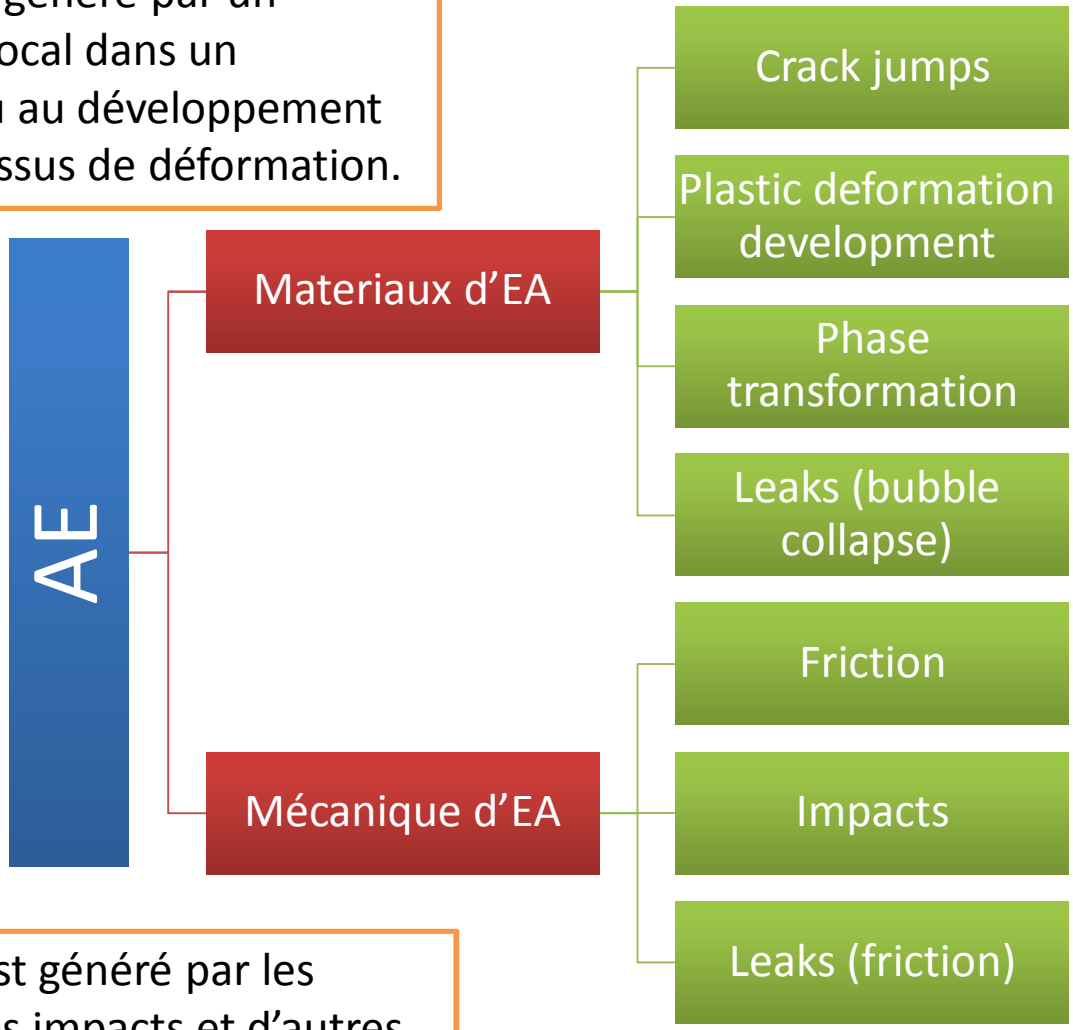
Å Cavitation,

Å Ebullition,

Å Décharges partielles…

Classes et mécanismes dŒA

Matériaux d'EA – l'EA est généré par un changement dynamique local dans un matériaux de structure dû au développement de la rupture ou au processus de déformation.



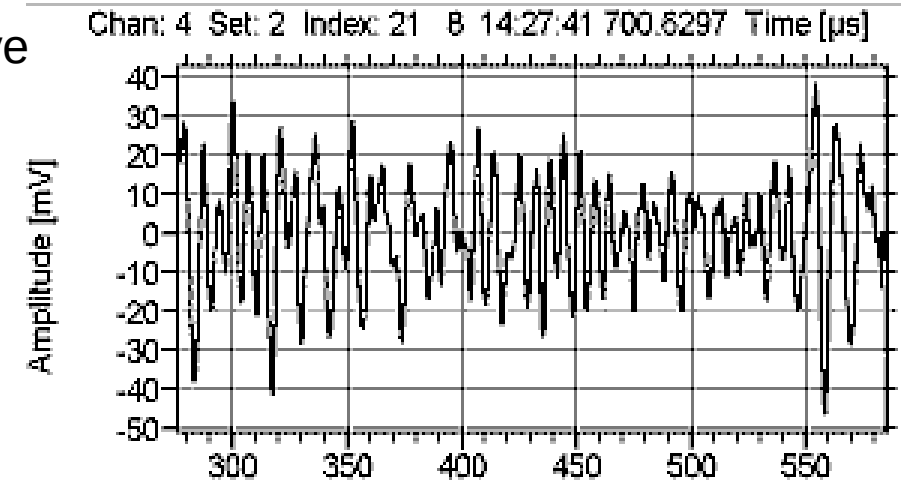
Mécanique d'EA – l'EA est généré par les fuites, les frottements, les impacts et d'autres sources d'origines mécaniques.

EA primaire et secondaire

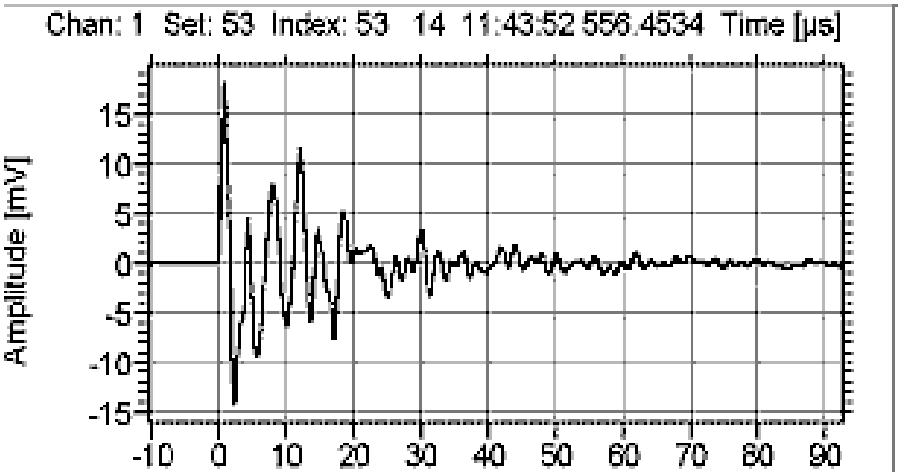
EA Primaire	EA Secondaire
Sauts de fissure	Frottement au niveau des surfaces des fissures
Déformation plastique	Rupture des inclusions dans la zone de microfissuration
Evolution des fissures	Rupture des couches corrodées dans le cas de corrosion en fatigue

Types dœEA

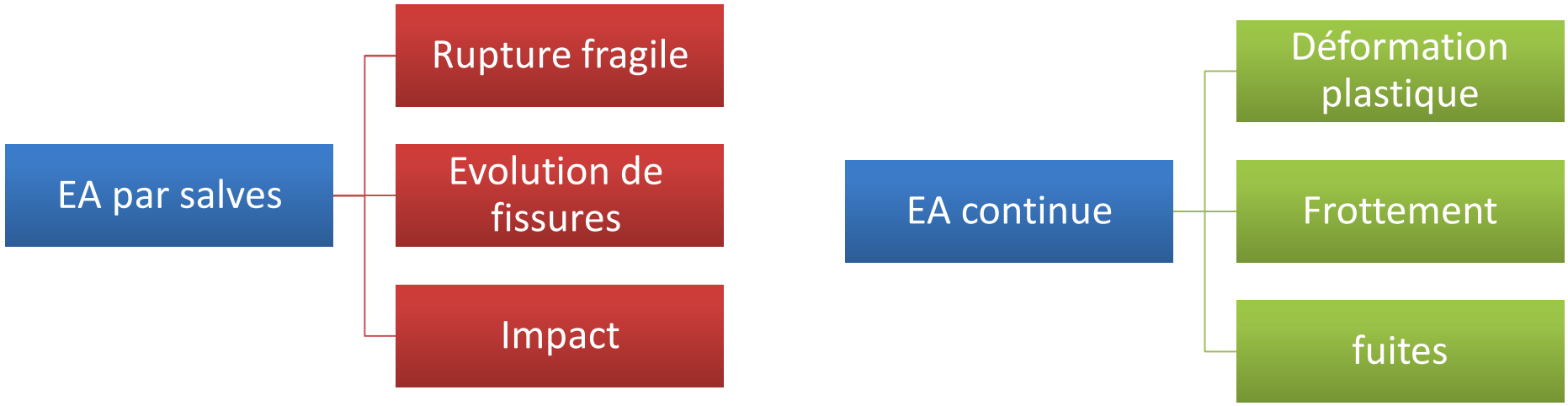
EA continue : est une description qualitative du signal produit par un ensemble dœémissions discrètes dont les salves sont très rapprochées et ne peuvent pas être séparées les unes des autres.
Elle est principalement liée à des phénomènes constamment actifs durant la déformation.



EA discrète ou discontinue : est une description qualitative du signal qui se présente sous forme sinusoïdales amorties.
Ce type dœémission est associé à des mécanismes très énergétiques comme les phénomènes dœamorçage et de propagation des fissures conduisant à la rupture.



Quelques mécanismes dœmission discrète ou dœmission continue



L'identification des caractéristiques spécifiques distinctives des différents défauts de rupture de plusieurs types de matériaux est une condition nécessaire pour avoir un diagnostic fiable.

Facteurs renforçant lôintensité dôEA

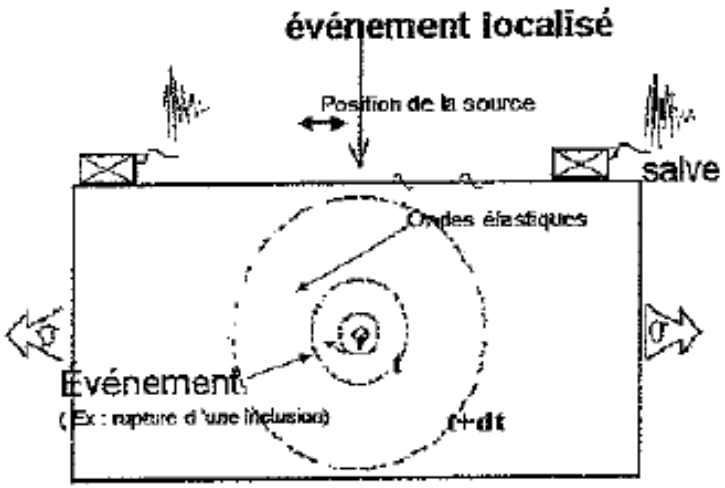
- Résistance mécanique élevée
- Vitesse de déformation élevée
- Anisotropie
- Hétérogénéité
- Epaisseurs importantes
- Tendance à former des macles
- Températures basses
- Propagation des fissures
- Structure à gros grain
- Structure : brut de soudage

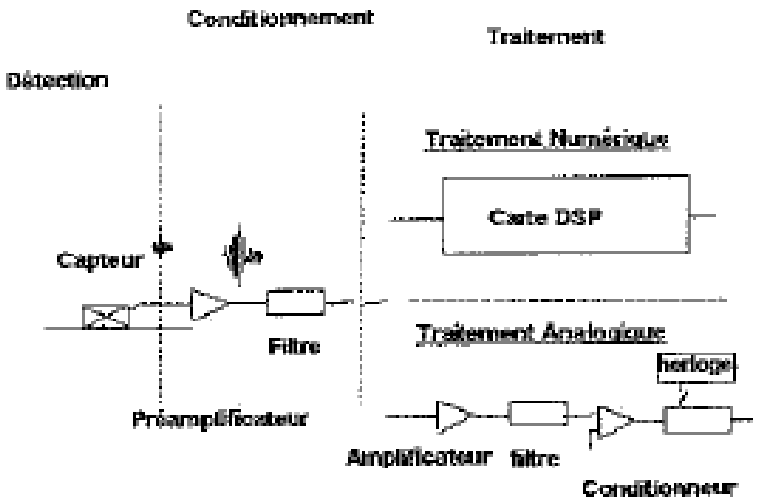
Dispositif d’émission acoustique

Principe de lœEA

Le principe dœmission acoustique peut être décrit par trois fonctions essentielles :

- Détection de lôonde élastique et conversion en un signal électrique à lôaide dôun capteur piézoélectrique.
- Conditionnement du signal, car les signaux obtenus en sortie de capteur ont un niveau très faible. Dôù la nécessité de la mise en î uvre dôamplifications importantes pour pouvoir les traiter et les analyser correctement.
- Traitement de signal, plusieurs techniques de traitement de signal sont utilisées dont lœévolution est permanente.

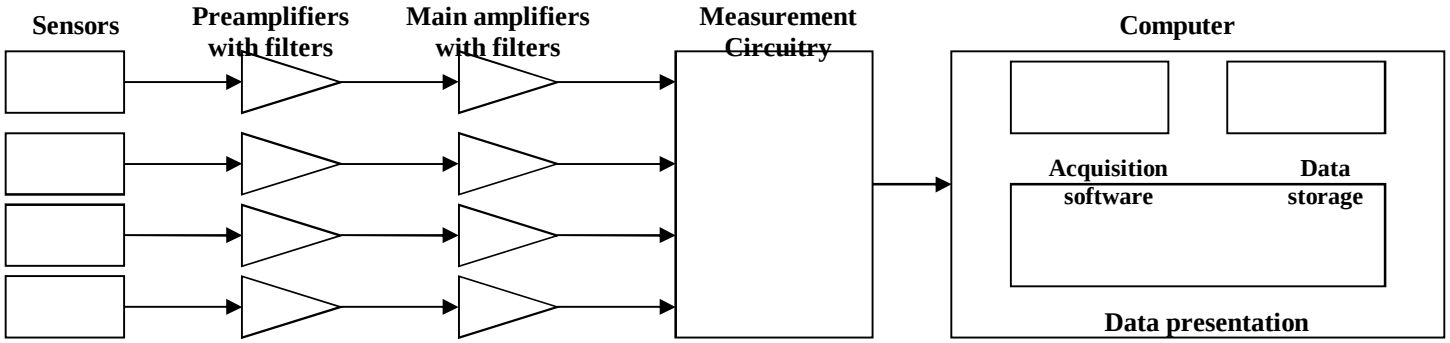




Dispositifs dâEA

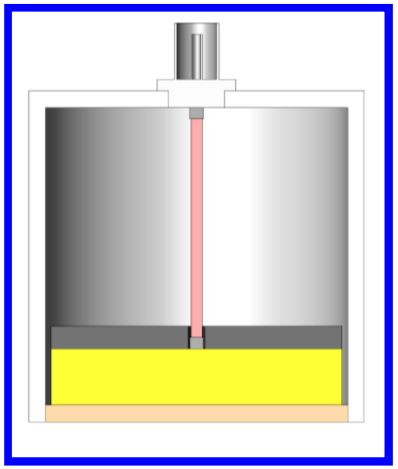
Les dispositifs typiques d'EA consistent des composants suivant:

- Å Les capteurs utilisés pour détecter les évènements d'EA.
- Å Les amplificateurs qui amplifient le signal initial. Le gain typique des amplificateurs est de 40 ou de 60 dB.
- Å Les câbles qui transfèrent les signaux à des distances jusqu'au 200 m au dispositif d'EA.
- Å Le dispositif d'acquisition des données effectue la filtration , l'évaluation des paramètres des signaux , l'analyse des données et la cartographie.



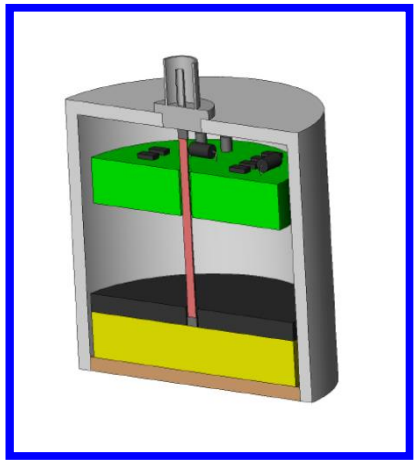
Capteurs dõEA

- Le but des capteurs dõEA est de détecter les mouvements dus aux contraintes qui causent un déplacement local dynamique dans le matériau et de transformer ces déplacements en signal électrique.
- Les capteurs dõEA sont typiquement des capteurs piézoélectriques avec des éléments constitués des éléments de céramique spéciale comme (Titanate Zirconate de plomb). La déformation mécanique des éléments piezo génère des signaux électriques.
- Certains capteurs peuvent contenir aussi des préamplificateurs installés (capteurs intégrés).



Regular piezoelectric sensor

Preamplifier 60 dB



Integral piezoelectric sensor

Charactéristiques des capteurs

- Les intervalles de fréquences typiques dans les applications d'EA varient entre 20 kHz et 1 MHz.

- La sélection d'un capteur spécifique dépend de l'application et du type de défauts à détecter.

- Il y a deux types qualitatives de capteurs selon leurs réponses fréquentielles : capteurs résonnant et capteurs à larges bandes.

- L'épaisseur des éléments piézoélectrique définit la fréquence de résonnance des capteurs.

- Le diamètre moyenne la surface où se passe le mouvement.

- Une autre propriété importante des capteurs d'EA inclue «Curie Point», la température au dessus de laquelle les éléments piézoélectriques perdent leurs propriétés piézoélectriques à titre définitifs. La température « Curie » varie pour différentes céramiques de 120 à 400C^0. Il y a des céramiques avec une température « curie » qui atteint 1200C^0.

Installation des capteurs sur la structure

Le type d'installation et le choix du matériaux de couplage est défini par des spécificités d'application

- La colle (type supercolle) est couramment utilisée pour l'inspection des tuyauteries.
- Les aimants sont normalement utilisé pour détenir les capteurs sur des récipients sous pression en métal . La graisse et l'huile sont après utilisé comme un couplant.
- Les bandes utilisées pour des attachements mécaniques des capteurs dans les applications à long terme.
- Les guides d'ondes (soudés ou attachés mécaniquement) utilisés dans les applications à hautes températures.
- Les capteurs roulants utilisés pour les inspections des structures tournantes.
- Les couvertures spéciales utilisées pour protéger les capteurs dans l'industrie nucléaire.

Sensor attached with magnet

Pb blanket in nuclear applications

Waveguide

Rolling sensor produces by PAC

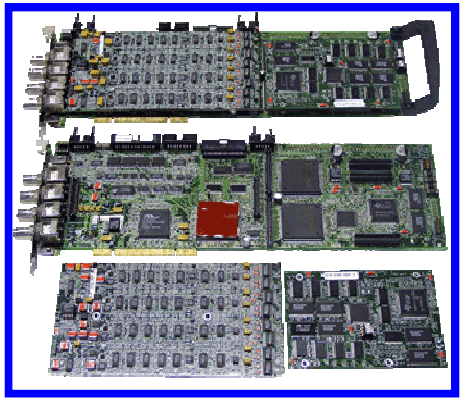
Méthodes de calibration des capteurs dœA

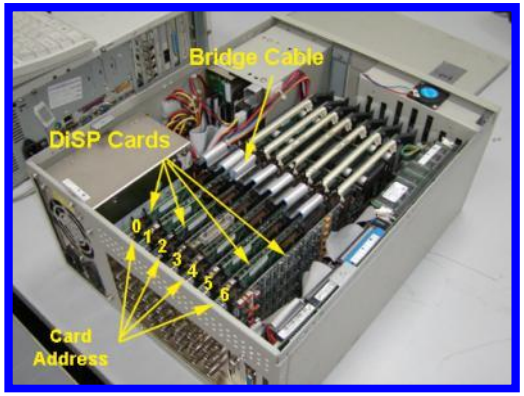
- La calibration d'un capteur est la mesure de son voltage de sortie dû à une charge électrique établie pour une entrée mécanique donnée.

- Calibration de surface ou calibration de Rayleigh : le capteur et la source sont localisés sur le même plan de surface du bloque d'essai.

- A travers la calibration impulsionnelle: Le capteur et la source sont coaxiallement localisés sur des surfaces parallèles opposées. Tous les mouvements des signaux sont libres de tout effet de dimension.

Dispositif dâacquisition des données dâEA





Exemple des paramètres du dispositif d'EA:

- **16 bit, 10 MHz A/D converter.**
- **Amplitude maximale des signaux d'EA 100 dB.**
- **4 High Pass filters for each channel with a range from 10 KHz to 200 KHz (under software control).**
- **4 Low Pass filters for each channel with a range from 100 KHz to 2.1 MHz (under software control).**
- **32 bit Digital Signal Processor.**
- **1 Mbyte DSP and Waveform buffer.**