

# MANUEL D'INSTRUCTIONS POUR TESTS NON-DESTRUCTIFS

---

**Référence: MIT-NDT-2025-005**

**Classification: STANDARD / USAGE PÉDAGOGIQUE**

---

**Public cible:** Personnel technique en formation

**Version:** 1.4

**Date de révision:** 20 mai 2025

## AVANT-PROPOS

Ce manuel d'instructions présente les principes fondamentaux et les procédures pratiques des tests non-destructifs (NDT) utilisés dans l'industrie aéronautique. Il est conçu comme un outil pédagogique pour le personnel technique en formation, conformément aux exigences des autorités de l'aviation civile (EASA et FAA).

Les tests non-destructifs sont essentiels pour garantir l'intégrité structurelle des aéronefs tout au long de leur cycle de vie. Ce manuel vous guidera à travers les différentes méthodes, leurs applications et les bonnes pratiques à suivre pour obtenir des résultats fiables.

## 1. INTRODUCTION AUX TESTS NON-DESTRUCTIFS

### 1.1 Qu'est-ce qu'un test non-destructif?

---

Un test non-destructif (NDT) est une technique d'inspection qui permet d'évaluer les propriétés d'un matériau, d'un composant ou d'un système sans l'endommager.

Contrairement aux tests destructifs qui nécessitent de sacrifier l'échantillon, les NDT préservent l'intégrité de la pièce inspectée, ce qui les rend particulièrement précieux dans l'industrie aéronautique.

Les tests non-destructifs permettent de: - Détecter des défauts invisibles à l'œil nu - Vérifier l'intégrité structurelle des composants - Mesurer l'épaisseur des matériaux - Évaluer les propriétés des matériaux - Identifier les signes précoces de fatigue ou de corrosion

## 1.2 Importance dans l'industrie aéronautique

---

Dans l'aviation, la sécurité est primordiale. Les tests non-destructifs jouent un rôle crucial pour:

**Assurer la sécurité des vols:** En détectant les défauts potentiellement dangereux avant qu'ils ne provoquent une défaillance en vol.

**Optimiser la maintenance:** En permettant des inspections ciblées sans démontage excessif, réduisant ainsi les temps d'immobilisation et les coûts.

**Prolonger la durée de vie des avions:** En identifiant les problèmes à un stade précoce, permettant des interventions avant que les dommages ne s'aggravent.

**Respecter les exigences réglementaires:** Les autorités comme l'EASA et la FAA imposent des programmes d'inspection rigoureux incluant des NDT spécifiques.

## 1.3 Cadre réglementaire

---

Les tests non-destructifs dans l'aviation sont encadrés par plusieurs réglementations:

**EASA:** - Part-145: Exigences pour les organismes de maintenance - Part-66: Licences de maintenance aéronautique - AMC 145.A.30(f): Qualification du personnel NDT

**FAA:** - 14 CFR Part 43: Maintenance, maintenance préventive, reconstruction et altération - AC 65-31B: Formation, qualification et certification du personnel NDT - AC 43-3A: Inspections non-destructives

**Normes internationales:** - EN 4179 / NAS 410: Qualification et certification du personnel NDT - ISO 9712: Qualification et certification du personnel END

## 2. PRINCIPES FONDAMENTAUX DES NDT

### 2.1 Types de défauts recherchés

---

Les tests non-destructifs permettent de détecter différents types de défauts:

**Défauts de surface:** - Fissures - Rayures profondes - Piqûres de corrosion - Érosion  
- Marques d'usinage inappropriées

**Défauts internes:** - Fissures de fatigue - Inclusions - Porosités - Délaminages (dans les composites) - Vides - Manques de fusion (dans les soudures)

**Autres anomalies:** - Variations d'épaisseur - Désalignements - Assemblages incorrects - Contaminations

### 2.2 Facteurs influençant le choix de la méthode

---

Le choix de la méthode NDT dépend de plusieurs facteurs:

**Caractéristiques du matériau:** - Composition (métal, composite, céramique) - Propriétés magnétiques - Conductivité électrique - Homogénéité

**Nature du défaut recherché:** - Localisation (surface ou interne) - Orientation - Taille minimale à détecter - Type (fissure, porosité, etc.)

**Contraintes pratiques:** - Accessibilité de la zone à inspecter - Forme et taille du composant - Environnement d'inspection - Temps disponible - Coût acceptable

**Exigences réglementaires:** - Méthodes spécifiées dans les manuels de maintenance - Niveau de détection requis - Documentation nécessaire

### 2.3 Limites et complémentarité des méthodes

---

Chaque méthode NDT présente des avantages et des limites:

**Aucune méthode n'est universelle:** Certaines sont excellentes pour les défauts de surface mais inefficaces pour les défauts internes, et vice versa.

**Complémentarité:** Les méthodes sont souvent utilisées en combinaison pour une détection optimale.

**Facteurs limitants:** - Sensibilité (plus petite taille de défaut détectable) - Résolution (capacité à distinguer deux défauts proches) - Profondeur de pénétration - Contraintes géométriques - Interprétation des résultats

## 3. PRINCIPALES MÉTHODES DE NDT EN AÉRONAUTIQUE

### 3.1 Inspection visuelle

---

L'inspection visuelle est la méthode la plus fondamentale et souvent la première étape de tout programme d'inspection.

#### 3.1.1 Principes de base

L'inspection visuelle repose sur l'observation directe des surfaces pour détecter des anomalies visibles. Elle peut être:

**Directe:** Observation à l'œil nu ou avec une simple loupe.

**Assistée:** Utilisation d'instruments optiques comme des endoscopes, boroscopes ou vidéoscopes pour accéder aux zones difficiles.

#### 3.1.2 Équipement nécessaire

- Éclairage adapté (lampes directionnelles, UV)
- Loupes et miroirs d'inspection
- Endoscopes et boroscopes
- Caméras haute résolution
- Outils de mesure (règles, jauges)

#### 3.1.3 Applications typiques

- Inspection des surfaces extérieures de l'aéronef

- Contrôle des zones difficiles d'accès (moteurs, systèmes hydrauliques)
- Vérification des assemblages et fixations
- Détection de la corrosion visible, des fissures et des déformations

### 3.1.4 Avantages et limites

**Avantages:** - Simple et rapide - Peu coûteuse - Ne nécessite pas d'équipement complexe - Peut détecter de nombreux problèmes évidents

**Limites:** - Limitée aux défauts de surface - Dépend fortement de l'expérience de l'inspecteur - Efficacité réduite dans les zones peu accessibles - Ne détecte pas les défauts internes

## 3.2 Ressuage (Liquid Penetrant Testing)

---

Le ressuage est une méthode efficace pour détecter les discontinuités ouvertes à la surface des matériaux.

### 3.2.1 Principes de base

Le ressuage repose sur la capacité d'un liquide à pénétrer dans les fissures par capillarité. La méthode comprend plusieurs étapes: 1. Nettoyage de la surface 2. Application du pénétrant (coloré ou fluorescent) 3. Temps de pénétration 4. Élimination de l'excès de pénétrant 5. Application du révélateur 6. Inspection et interprétation 7. Nettoyage final

### 3.2.2 Types de ressuage

**Ressuage coloré:** - Utilise des pénétrants de couleur vive (généralement rouge) - Inspection en lumière blanche - Plus simple mais moins sensible

**Ressuage fluorescent:** - Utilise des pénétrants fluorescents - Inspection sous lumière ultraviolette - Plus sensible mais nécessite un environnement contrôlé

### 3.2.3 Applications typiques

- Inspection des pièces métalliques non poreuses
- Détection des fissures de surface dans les composants de moteur
- Contrôle des soudures

- Inspection des pièces usinées

### 3.2.4 Avantages et limites

**Avantages:** - Relativement simple et peu coûteux - Applicable à une grande variété de matériaux - Bonne sensibilité pour les défauts de surface - Résultats visuels faciles à interpréter

**Limites:** - Détecte uniquement les défauts débouchant en surface - Nécessite une surface propre et accessible - Inefficace sur les matériaux poreux - Sensible à la contamination de surface

## 3.3 Magnétoscopie (Magnetic Particle Testing)

---

La magnétoscopie permet de détecter les discontinuités de surface et sub-surface dans les matériaux ferromagnétiques.

### 3.3.1 Principes de base

La méthode repose sur la création d'un champ magnétique dans la pièce à inspecter. Les discontinuités perturbent ce champ, créant des fuites magnétiques qui attirent des particules ferromagnétiques appliquées sur la surface.

Les étapes principales sont: 1. Nettoyage de la surface 2. Magnétisation de la pièce 3. Application des particules magnétiques 4. Inspection et interprétation 5. Démagnétisation 6. Nettoyage final

### 3.3.2 Techniques de magnétisation

**Magnétisation longitudinale:** - Le champ magnétique est parallèle à l'axe principal de la pièce - Détecte les défauts perpendiculaires à l'axe

**Magnétisation circulaire:** - Le champ magnétique est circulaire autour de l'axe de la pièce - Détecte les défauts parallèles à l'axe

### 3.3.3 Applications typiques

- Inspection des trains d'atterrissage
- Contrôle des composants de moteur ferromagnétiques
- Vérification des arbres et engrenages
- Inspection des fixations structurelles

### 3.3.4 Avantages et limites

**Avantages:** - Rapide et relativement simple - Peut détecter des défauts sub-surface (jusqu'à quelques mm) - Bonne sensibilité pour les fissures fines - Résultats immédiats et visuels

**Limites:** - Applicable uniquement aux matériaux ferromagnétiques - Nécessite deux directions de magnétisation pour une couverture complète - Inefficace pour les défauts profonds - Peut nécessiter une démagnétisation après inspection

## 3.4 Courants de Foucault (Eddy Current Testing)

---

La méthode des courants de Foucault utilise les principes d'induction électromagnétique pour détecter les défauts.

### 3.4.1 Principes de base

Un champ magnétique alternatif généré par une bobine induit des courants de Foucault dans le matériau conducteur. Les discontinuités perturbent ces courants, modifiant l'impédance de la bobine, ce qui est détecté et analysé.

### 3.4.2 Types de sondes

**Sondes absolues:** - Une seule bobine qui sert à la fois d'émetteur et de récepteur - Utilisées pour la détection générale des défauts

**Sondes différentielles:** - Deux bobines connectées en opposition - Plus sensibles aux variations locales - Moins sensibles aux variations graduelles (comme l'épaisseur)

**Sondes à réflexion:** - Bobines d'émission et de réception séparées - Bonne sensibilité et polyvalence

### 3.4.3 Applications typiques

- Détection des fissures autour des rivets
- Mesure d'épaisseur des revêtements
- Inspection des alésages et trous de fixation
- Contrôle de la corrosion sous les revêtements

### 3.4.4 Avantages et limites

**Avantages:** - Ne nécessite pas de contact direct (possibilité d'inspecter à travers des revêtements) - Portable et automatisable - Sensible à de nombreux types de défauts - Pas de consommables nécessaires

**Limites:** - Limité aux matériaux conducteurs - Profondeur de pénétration limitée (effet de peau) - Sensible à de nombreux paramètres (nécessite une calibration soignée) - Interprétation des signaux parfois complexe

## 3.5 Ultrasons (Ultrasonic Testing)

---

L'inspection par ultrasons utilise des ondes sonores à haute fréquence pour détecter les défauts internes.

### 3.5.1 Principes de base

Des ondes ultrasonores sont émises dans le matériau à l'aide d'un transducteur. Ces ondes se réfléchissent sur les interfaces et les discontinuités. L'analyse des échos permet de détecter et localiser les défauts.

### 3.5.2 Techniques principales

**Pulse-écho:** - Le même transducteur émet et reçoit les ondes - Mesure le temps de vol des échos pour déterminer la profondeur des défauts

**Transmission:** - Un transducteur émet et un autre reçoit - Mesure l'atténuation du signal à travers la pièce

**TOFD (Time of Flight Diffraction):** - Utilise la diffraction des ondes sur les extrémités des défauts - Très précis pour le dimensionnement des fissures

**Phased Array:** - Utilise des transducteurs multi-éléments - Permet de balayer électroniquement et de focaliser le faisceau - Crée des images sectorielles ou linéaires

### 3.5.3 Applications typiques

- Inspection des soudures et joints
- Détection des délaminages dans les composites
- Mesure d'épaisseur des parois



- Inspection des pièces forgées et moulées

#### 3.5.4 Avantages et limites

**Avantages:** - Grande capacité de pénétration - Détecte les défauts internes - Bonne précision de localisation et dimensionnement - Applicable à une grande variété de matériaux

**Limites:** - Nécessite généralement un couplant - Difficultés avec les géométries complexes - Sensible à l'orientation des défauts - Nécessite une expertise pour l'interprétation

### 3.6 Radiographie (Radiographic Testing)

---

La radiographie utilise des rayonnements ionisants pour visualiser l'intérieur des matériaux.

#### 3.6.1 Principes de base

Des rayons X ou gamma traversent le matériau et sont plus ou moins absorbés selon la densité et l'épaisseur. Les variations d'absorption créent une image sur un film radiographique ou un détecteur numérique.

#### 3.6.2 Types de radiographie

**Radiographie conventionnelle (film):** - Utilise des films radiographiques - Haute résolution mais traitement chimique nécessaire

**Radiographie numérique (DR):** - Utilise des détecteurs numériques - Résultats immédiats et traitement d'image possible

**Radiographie calculée (CR):** - Utilise des plaques photostimulables - Compromis entre film et numérique

**Tomographie:** - Crée des images en coupes ou 3D - Permet une visualisation précise de la position des défauts

#### 3.6.3 Applications typiques

- Inspection des assemblages complexes
- Contrôle des soudures critiques

- Détection des défauts internes dans les pièces moulées
- Vérification de l'assemblage correct des composants

### 3.6.4 Avantages et limites

**Avantages:** - Fournit une image permanente de l'intérieur de la pièce - Détecte une grande variété de défauts internes - Applicable à presque tous les matériaux - Permet l'inspection d'assemblages complexes

**Limites:** - Risques liés aux radiations (nécessite des mesures de sécurité strictes) - Équipement coûteux et encombrant - Accès nécessaire des deux côtés de la pièce - Sensibilité limitée aux défauts planaires non orientés favorablement

## 3.7 Thermographie infrarouge

---

La thermographie utilise les variations de température pour détecter les anomalies.

### 3.7.1 Principes de base

La méthode repose sur la mesure des rayonnements infrarouges émis par les surfaces. Les défauts modifient la conductivité thermique locale, créant des variations de température détectables.

### 3.7.2 Techniques principales

**Thermographie passive:** - Observe les différences naturelles de température - Utile pour détecter les problèmes en fonctionnement

**Thermographie active:** - Applique une stimulation thermique (flash, chauffage) - Observe la propagation et la dissipation de la chaleur

### 3.7.3 Applications typiques

- Détection des délaminages dans les composites
- Identification des zones d'humidité ou d'infiltration
- Contrôle des structures sandwich
- Inspection des circuits électroniques

### 3.7.4 Avantages et limites

**Avantages:** - Inspection sans contact et rapide de grandes surfaces - Visualisation intuitive des résultats - Pas de risques pour la santé - Applicable à de nombreux matériaux

**Limites:** - Profondeur de détection limitée - Sensible aux conditions environnementales - Résolution spatiale parfois limitée - Nécessite une différence de propriétés thermiques

## 4. PROCÉDURES PRATIQUES

### 4.1 Préparation de l'inspection

---

Une préparation adéquate est essentielle pour des résultats fiables:

#### 4.1.1 Analyse préliminaire

Avant de commencer l'inspection, il est important de: - Identifier clairement l'objectif de l'inspection - Comprendre la structure et les matériaux du composant - Connaître l'historique de la pièce et les problèmes potentiels - Consulter la documentation technique applicable

#### 4.1.2 Sélection de la méthode

Le choix de la méthode doit prendre en compte: - Le type de défaut recherché - Le matériau à inspecter - L'accessibilité de la zone - Les exigences de détection - Les ressources disponibles

#### 4.1.3 Préparation de la surface

La plupart des méthodes NDT nécessitent une préparation de surface: - Nettoyage pour éliminer la saleté, l'huile et les contaminants - Élimination de la peinture si nécessaire - Séchage complet - Traitement de surface spécifique selon la méthode

#### 4.1.4 Calibration des équipements

Avant chaque inspection: - Vérifier le bon fonctionnement des équipements - Calibrer avec des blocs ou échantillons de référence - Documenter les paramètres de calibration - Vérifier la date d'étalonnage des instruments

### 4.2 Réalisation des inspections

---

#### 4.2.1 Inspection visuelle

**Procédure simplifiée:** 1. Préparer un éclairage adéquat 2. Nettoyer soigneusement la zone à inspecter 3. Observer méthodiquement la surface en suivant un schéma prédéfini 4. Utiliser des aides optiques pour les détails fins 5. Documenter toute anomalie avec photos et mesures

**Conseils pratiques:** - Varier l'angle d'observation et d'éclairage - Prendre son temps et faire des pauses régulières - Utiliser des miroirs pour les zones difficiles d'accès - Comparer avec des zones similaires en bon état

#### 4.2.2 Ressuage

**Procédure simplifiée:** 1. Nettoyer et dégraisser soigneusement la surface 2. Appliquer le pénétrant uniformément 3. Respecter le temps de pénétration (10-30 minutes selon le produit) 4. Éliminer l'excès de pénétrant avec un chiffon propre puis un nettoyant 5. Appliquer une fine couche de révélateur 6. Observer le développement des indications 7. Évaluer et documenter les résultats 8. Nettoyer la pièce

**Conseils pratiques:** - Vérifier la compatibilité des produits avec le matériau - Respecter scrupuleusement les temps recommandés - Maintenir une température adéquate (10-50°C) - Éviter toute contamination entre les étapes

#### 4.2.3 Magnétoscopie

**Procédure simplifiée:** 1. Nettoyer la surface à inspecter 2. Appliquer un fond blanc si nécessaire (pour contraste) 3. Positionner les électrodes ou le joug magnétique 4. Appliquer les particules magnétiques pendant la magnétisation 5. Observer la formation des indications 6. Répéter avec une direction de magnétisation perpendiculaire 7. Évaluer et documenter les résultats 8. Démagnétiser la pièce 9. Nettoyer la surface

**Conseils pratiques:** - Vérifier l'intensité du champ magnétique avec un indicateur - Utiliser les deux directions de magnétisation - Éviter la surchauffe lors de la magnétisation par passage de courant - Vérifier la démagnétisation avec un mesureur de champ

#### 4.2.4 Courants de Foucault

**Procédure simplifiée:** 1. Sélectionner la sonde appropriée 2. Calibrer l'équipement avec des échantillons de référence 3. Régler la fréquence selon la profondeur d'inspection souhaitée 4. Scanner méthodiquement la surface 5. Observer les variations de signal 6. Marquer les zones présentant des indications 7. Documenter les résultats

**Conseils pratiques:** - Maintenir une vitesse de balayage constante - Assurer un contact ou une distance constante avec la surface - Être attentif aux effets de bord - Recalibrer régulièrement pendant l'inspection

#### 4.2.5 Ultrasons

**Procédure simplifiée:** 1. Sélectionner le transducteur approprié (fréquence, taille, angle) 2. Préparer la surface et appliquer le couplant 3. Calibrer l'appareil avec des blocs de référence 4. Scanner méthodiquement la zone d'intérêt 5. Observer les échos sur l'écran 6. Analyser les signaux pour identifier les défauts 7. Mesurer et caractériser les indications 8. Documenter les résultats

**Conseils pratiques:** - Maintenir une couche de couplant adéquate - Assurer un bon contact entre le transducteur et la surface - Adapter la sensibilité selon la zone inspectée - Vérifier régulièrement la calibration

#### 4.2.6 Radiographie

**Procédure simplifiée:** 1. Préparer la zone de travail et les mesures de sécurité 2. Positionner la pièce entre la source et le film/détecteur 3. Placer les indicateurs de qualité d'image (IQI) 4. Calculer les paramètres d'exposition (kV, mA, temps) 5. Exposer le film/détecteur 6. Développer le film ou traiter l'image numérique 7. Interpréter les résultats 8. Documenter les observations

**Conseils pratiques:** - Respecter strictement les procédures de radioprotection - Optimiser les paramètres pour un bon contraste - Utiliser des masques pour les zones d'épaisseur variable - Vérifier la qualité d'image avec les IQI

## 4.3 Interprétation des résultats

---

### 4.3.1 Identification des indications

Pour chaque méthode, apprendre à distinguer: - Les vraies indications de défauts - Les fausses indications (artefacts) - Les caractéristiques géométriques normales

### 4.3.2 Évaluation des défauts

Pour chaque indication, déterminer: - Type de défaut (fissure, porosité, inclusion, etc.) - Localisation précise - Dimensions (longueur, largeur, profondeur) - Orientation - Sévérité

### 4.3.3 Critères d'acceptation

Les critères d'acceptation sont généralement définis dans: - Les manuels de maintenance - Les spécifications du constructeur - Les normes applicables - Les directives de navigabilité

### 4.3.4 Documentation

Documenter soigneusement: - Identification de la pièce - Méthode d'inspection utilisée - Paramètres d'inspection - Description des indications - Évaluation par rapport aux critères - Décision (accepté/rejeté) - Photos ou images des indications significatives

## 4.4 Assurance qualité

---

### 4.4.1 Qualification du personnel

Conformément aux normes EN 4179 / NAS 410: - Niveau 1: Réalise les inspections selon des procédures écrites - Niveau 2: Développe des procédures et interprète les résultats - Niveau 3: Supervise et valide les méthodes

### 4.4.2 Validation des procédures

Chaque procédure NDT doit être validée: - Sur des échantillons représentatifs - Avec des défauts connus - Dans des conditions réalistes - Par du personnel qualifié

#### 4.4.3 Contrôle des équipements

Maintenir un programme de: - Vérification quotidienne avant utilisation - Calibration périodique - Maintenance préventive - Certification des équipements critiques

## 5. APPLICATIONS PRATIQUES EN AÉRONAUTIQUE

### 5.1 Inspection des structures métalliques

---

#### 5.1.1 Zones critiques

- Cadres et longerons principaux
- Revêtements dans les zones de contraintes élevées
- Joints rivetés et boulonnés
- Points d'attache des ailes et empennages
- Trains d'atterrissage

#### 5.1.2 Défauts typiques

- Fissures de fatigue autour des fixations
- Corrosion intergranulaire
- Dommages d'impact
- Déformations permanentes
- Usure des alésages

#### 5.1.3 Méthodes recommandées

- Inspection visuelle pour l'évaluation initiale
- Ressuage pour les fissures de surface
- Courants de Foucault pour les zones de fixations
- Ultrasons pour l'épaisseur des parois et la corrosion
- Radiographie pour les assemblages complexes

## 5.2 Inspection des composites

---

### 5.2.1 Zones critiques

- Jonctions avec les structures métalliques
- Zones d'impact potentiel
- Surfaces soumises à l'érosion
- Zones de réparation antérieure
- Bords de fuite et bords d'attaque

### 5.2.2 Défauts typiques

- Délaminages
- Porosités
- Inclusions
- Dommages d'impact (BVID - Barely Visible Impact Damage)
- Décollements des raidisseurs

### 5.2.3 Méthodes recommandées

- Inspection visuelle pour les dommages apparents
- Tap test pour une première évaluation
- Ultrasons pour les délaminages internes
- Thermographie pour les grandes surfaces
- Radiographie pour les zones complexes

## 5.3 Inspection des moteurs

---

### 5.3.1 Zones critiques

- Aubes de turbine et compresseur
- Disques
- Chambres de combustion
- Arbres de transmission



- Systèmes d'échappement

### **5.3.2 Défauts typiques**

- Fissures de fatigue thermique
- Érosion des bords d'attaque
- Déformation des aubes
- Brûlures et oxydation
- Impacts de corps étrangers (FOD)

### **5.3.3 Méthodes recommandées**

- Inspection visuelle par endoscopie
- Ressuage pour les fissures de surface
- Courants de Foucault pour les alésages
- Ultrasons pour les disques
- Radiographie pour les assemblages complexes

## **6. SÉCURITÉ ET BONNES PRATIQUES**

### **6.1 Sécurité générale**

---

#### **6.1.1 Équipements de protection individuelle**

Selon la méthode utilisée: - Gants adaptés aux produits chimiques - Lunettes de protection - Protection respiratoire si nécessaire - Dosimètre pour la radiographie - Vêtements de protection

#### **6.1.2 Manipulation des produits chimiques**

- Lire et comprendre les fiches de données de sécurité
- Stocker les produits dans des contenants appropriés
- Assurer une ventilation adéquate
- Disposer des déchets conformément aux réglementations

- Connaître les procédures d'urgence en cas de déversement

## 6.2 Radioprotection

---

Pour les méthodes utilisant des rayonnements ionisants: - Respecter les principes ALARA (As Low As Reasonably Achievable) - Utiliser les équipements de protection appropriés - Respecter les zones de sécurité - Porter les dosimètres personnels - Suivre une formation spécifique en radioprotection

## 6.3 Bonnes pratiques environnementales

---

- Minimiser l'utilisation de produits chimiques dangereux
- Récupérer et recycler les produits quand c'est possible
- Utiliser des alternatives plus écologiques quand elles existent
- Respecter les réglementations locales sur les déchets
- Éviter les rejets dans l'environnement

# 7. TENDANCES ET INNOVATIONS

## 7.1 Automatisation et robotisation

---

Les tendances actuelles incluent: - Systèmes d'inspection automatisés - Robots d'inspection pour zones difficiles d'accès - Drones équipés de capteurs NDT - Systèmes de scan 3D intégrés

## 7.2 Techniques avancées

---

Les innovations récentes comprennent: - Ultrasons multiéléments (Phased Array) avancés - Tomographie numérique haute résolution - Thermographie active pulsée - Shearographie laser - Techniques de traitement d'image assistées par IA

## 7.3 Intégration au concept de maintenance prédictive

---

Les NDT s'intègrent de plus en plus dans: - Systèmes de surveillance de santé structurale (SHM) - Analyse de données massives pour prédiction de défaillances - Maintenance basée sur l'état réel des composants - Jumeaux numériques des structures

## 8. EXERCICES PRATIQUES

### 8.1 Exercice de ressuage

---

**Objectif:** Détecter des fissures de surface sur un échantillon métallique.

**Matériel nécessaire:** - Kit de ressuage (pénétrant, révélateur, nettoyant) - Échantillon avec fissures connues - Chiffons propres - Chronomètre - Éclairage adapté

**Procédure:** 1. Nettoyer soigneusement l'échantillon 2. Appliquer le pénétrant uniformément 3. Attendre 15 minutes 4. Éliminer l'excès de pénétrant 5. Appliquer le révélateur 6. Observer et noter les indications 7. Comparer avec les défauts connus

### 8.2 Exercice d'ultrasons

---

**Objectif:** Mesurer l'épaisseur d'une plaque et détecter des défauts internes.

**Matériel nécessaire:** - Appareil à ultrasons - Transducteur approprié - Bloc de calibration - Couplant - Échantillon avec défauts connus

**Procédure:** 1. Calibrer l'appareil avec le bloc de référence 2. Appliquer le couplant sur l'échantillon 3. Mesurer l'épaisseur à différents points 4. Scanner méthodiquement la surface 5. Identifier et caractériser les échos anormaux 6. Documenter les résultats 7. Comparer avec les défauts connus

### 8.3 Exercice d'interprétation radiographique

---

**Objectif:** Interpréter des radiographies et identifier différents types de défauts.

**Matériel nécessaire:** - Collection de radiographies avec défauts connus - Négatoscope ou écran de visualisation - Règle et loupe - Fiches d'interprétation

**Procédure:** 1. Placer la radiographie sur le négatoscope 2. Examiner méthodiquement l'image 3. Identifier les indications anormales 4. Caractériser chaque indication (type, taille, position) 5. Évaluer selon des critères d'acceptation fournis 6. Documenter les observations 7. Comparer avec les interprétations correctes

## 9. RESSOURCES COMPLÉMENTAIRES

### 9.1 Normes et références

---

**Normes internationales:** - EN 4179 / NAS 410: Qualification et certification du personnel - ISO 9712: Qualification et certification du personnel END - ASTM E1417: Standard Practice for Liquid Penetrant Testing - ASTM E1444: Standard Practice for Magnetic Particle Testing

**Documentation aéronautique:** - AC 43-3A: Nondestructive Testing in Aircraft - EASA AMC 145.A.30(f): Personnel Requirements - ATA 104: Guidelines for Aircraft Maintenance Training

### 9.2 Formation continue

---

**Organismes de formation:** - COFREND (France) - BINDT (Royaume-Uni) - ASNT (États-Unis) - DGZfP (Allemagne)

**Ressources en ligne:** - NDT Resource Center ([www.nde-ed.org](http://www.nde-ed.org)) - ICNDT (International Committee for NDT) - Forums professionnels spécialisés

### 9.3 Contacts utiles

---

**Support technique:** - Fabricants d'équipements NDT - Laboratoires spécialisés - Organismes de certification - Associations professionnelles

## CONCLUSION

Les tests non-destructifs sont un pilier essentiel de la sécurité aéronautique. Ils permettent de détecter les défauts avant qu'ils ne deviennent critiques, contribuant ainsi directement à la sécurité des vols.

Ce manuel vous a présenté les principes fondamentaux et les applications pratiques des principales méthodes NDT utilisées dans l'industrie aéronautique. Rappelez-vous que la qualité d'une inspection dépend non seulement de la technique utilisée, mais aussi de la compétence et de la rigueur de l'inspecteur.

La formation continue et l'expérience pratique sont essentielles pour développer et maintenir les compétences nécessaires à la réalisation d'inspections fiables et précises.

## ANNEXES

- Annexe A: Glossaire des termes techniques
- Annexe B: Tableaux de référence pour les paramètres d'inspection
- Annexe C: Exemples d'indications typiques pour chaque méthode
- Annexe D: Modèles de rapports d'inspection
- Annexe E: Liste de vérification pour chaque méthode NDT

---

Ce document est conforme aux exigences de documentation technique définies par l'EASA Part-147 et la FAA AC 147-3B.

**DOCUMENT PÉDAGOGIQUE - RÉVISION 1.4**