|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  | | --- | --- | |  | Académie Orléans-ToursBrevet de Technicien Supérieur **ASSISTANCE TECHNIQUE D'INGÉNIEUR**  **Session : 2026** |  E.9 – ÉPREUVE PROFESSIONNELLE DE SYNTHÈSE  |  |  |  | | --- | --- | --- | |  | U.9 – Mesure et/ou contrôle à caractère industriel |  |  Sous-épreuve pratique – Durée : 1 h 50 – Coefficient : 2DOSSIER DE VALIDATION DU SUJET N° : xxxx **Dénomination : Qualification de Performance d’un Robot FANUC**  **Nature du problème technique :**   |  | | --- | | * **1 – Contrôle de conformité de performances par mesurage des caractéristiques mécaniques (en entrée, en sortie, internes)**   **d'un système industriel**   * **2 –** Contrôle de conformité de performances par mesurage des caractéristiques électriques (en entrée, en sortie, internes)   d'un système industriel   * **3 –** Mesurage en vue d'opérations de montage pour assemblage de sous-systèmes (composants exclus) * 4 – Mesurage associé à une surveillance de la qualité – produit * **5 –** Mesurage lié à des exigences normatives de sécurité sur un système * **6 –** Autre (à préciser) : |   **Avis de la commission de validation :**   |  | | --- | | **Accepté**  **Refusé**  **Motif du refus :** .............................................................................................................................  **Nom du président de la commission :** ...**M. PORTIER**  **Date : Signature :** | |

# Présentation : Protocole de Qualification

# Objectif Général

# Qualifier les performances du robot FANUC LR Mate 200iD/4S pour une application industrielle.

Une image contenant machine, ingénierie, industrie, Outil-machine

Le contenu généré par l’IA peut être incorrect.

# L’évaluation porte sur la répétabilité de position et l’influence de la charge

# (Payload) sur la précision dynamique. La performance du robot, notamment sa répétabilité de position, est un critère critique pour la validation du processus.

Une image contenant machine, outil, intérieur

Le contenu généré par l’IA peut être incorrect.

* 1. **Scénario**

Une entreprise d'intégration a sélectionné le robot FANUC pour une nouvelle application. Le cahier des charges client impose une répétabilité de positionnement inférieure aux spécifications du constructeur. L'étudiant doit :

1. Mettre en œuvre un protocole de mesure de répétabilité conforme à la norme ISO 9283 **(Voir 2.2)**

[**Lien video**](https://photos.app.goo.gl/2R96Fpz9PmSiqDTDA)

1. Analyser l'influence de la charge embarquée (payload) sur la précision dynamique du robot **(Voir 2.3)**

# Dossier de Référence

### 2.1 Répétabilité de Position (RP) selon la Norme ISO 9283

La mesure de performance des robots industriels doit suivre des protocoles standardisés pour être significative. La référence internationale est la norme ISO 9283 : ***"Robots manipulateurs industriels - Critères de performance et méthodes d’essai correspondantes"***.

Cette norme définit la **répétabilité de position** comme une mesure de la dispersion du nuage de points atteints autour de leur position moyenne (le barycentre), après plusieurs répétitions du même mouvement.

Une image contenant diagramme, ligne, texte, capture d’écran

Le contenu généré par l’IA peut être incorrect.

La formule de calcul, issue de la norme ISO 9283, est la suivante :

Avec :

la distance euclidienne entre le point mesuré et le barycentre

Cette valeur représente la distance de chaque point par rapport au centre du nuage de mesure.

est la moyenne de ces distances :

est l’écart-type des distances

Cette valeur quantifie la variabilité de la dispersion. L’ajout de  correspond à une marge statistique (intervalle de confiance à 99,7%) pour garantir que la quasi-totalité des positions atteintes se trouveront dans la sphère de répétabilité de rayon .

Cette formule est la référence industrielle et sera celle utilisée pour conclure sur la conformité du robot.

**2.2 Protocole Expérimental Détaillé**

**Partie 1 : Contrôle de la Répétabilité de Position**

1. **Mise en Place et Calage du Dispositif de Mesure :**

* Fixer le gabarit de mesure 3D sur le bâti de manière stable.

Photo

* En mode manuel (faible vitesse), amener la bille de référence (TCP) du robot en contact léger avec les trois palpeurs des comparateurs.
* Ajuster la position des comparateurs pour qu'ils soient en légère pré-course.
* Effectuer la **mise à zéro (tare)** des trois comparateurs. **Cette position devient le point de référence pour toutes les mesures.**

1. **Stabilisation Thermique du Robot :**

* Lancer le programme *PROG\_REPETABILITE* pour effectuer **10 cycles à vide**.

*(Note : Les études (Khirani, 2021) montrent que la performance de répétabilité d'un robot est significativement meilleure après une période de préchauffage qui stabilise la température des réducteurs et des lubrifiants.)*

1. **Prise de Mesures (30 cycles) :**

* S'assurer que le PAYLOAD N°1 (charge à vide) est bien activé.
* Lancer le programme en mode automatique pour exécuter **30 cycles consécutifs**.
* À chaque cycle, le robot atteint le point de mesure et se stabilise. Relever les écarts affichés par les trois comparateurs avec le logiciel *Anywhere (Sylvac)*
* Une fois les 30 mesures effectuées exporter le fichiers csv vers le PC pour analyse.
* Insérer les données csv dans le fichier TP\_Robot\_Reponses.xlsx.

1. **Analyse des Données :**
   1. **Analyse de la Stabilité et de la Normalité du Procédé**
      1. Faire 3 histogrammes de distribution pour X, Y et Z.
      2. Tester la normalité des données pour chaque axe

*Remarque : Si le procédé est stable, ses variations sont aléatoires. On peut donc prédire sa performance future*

* 1. **Calculer la** **répétabilité de position (RPL)** selon la formule de la norme ISO 9283. (voir 2.1)
* Comparer la valeur de RPL calculée à la spécification du constructeur (±0.02 mm).
* Conclure sur la conformité du robot.

**2.3 Analyse de l’Influence de la Charge (Payload)**

Comme indiqué dans le livret intégrateur FANUC (Chapitre 5.2), le contrôleur du robot doit connaître les caractéristiques de sa charge (masse, CG, inerties) pour optimiser les lois de commande des moteurs. Il utilise ces informations pour adapter les lois de commande des servo-moteurs. Une déclaration correcte permet de :

* **Améliorer les performances dynamiques :** réduction des vibrations et de l'overshoot pour des trajectoires plus précises.
* **Optimiser les temps de cycle :** en permettant des accélérations maximales sans instabilité.
* **Augmenter la durée de vie du robot :** en évitant les contraintes excessives sur les réducteurs et les moteurs.

1. **Série à vide :**

* Le PAYLOAD N°1 (0 kg) est actif. Lancer 10 cycles du programme PROG\_TRAJECTOIRE.
* À l'aide d'un comparateur positionné en butée sur un point de la trajectoire, mesurer l'**overshoot** (dépassement dynamique avant stabilisation). Noter les 10 valeurs.

1. **Série en charge :**

* Fixer la charge de **1.5 kg** sur l'effecteur du robot.
* Dans le contrôleur, **activer le PAYLOAD N°2**, préalablement configuré pour une masse de 1.5 kg.
* Exécuter 10 cycles du même programme et mesurer le nouvel overshoot.

1. **(Optionnel) Série avec mauvaise déclaration :**

* Sans enlever la charge, **réactiver le PAYLOAD N°1 (0 kg)**.
* Observer le comportement du robot et mesurer l'overshoot.

1. **Conclusion :**

* Comparer les moyennes et dispersions des overshoots entre les séries.
* Analyser l'impact d'une déclaration de charge correcte sur la précision dynamique et la stabilité du robot, en justifiant l'importance de cette manipulation pour la performance et la durée de vie du robot.

# Dossier Technique

# Spécifications du Robot FANUC LR Mate 200iD/4S

# Les données ci-dessous sont issues du livret intégrateur FANUC (page 24)

# Une image contenant texte, capture d’écran, nombre, Parallèle Le contenu généré par l’IA peut être incorrect.

* 1. **Diagramme de charge admissible au poignet**

Ce diagramme indique la zone dans laquelle le centre de gravité de la charge doit se situer. La charge de notre TP (1.5 kg) doit respecter la courbe "2kg" (livret intégrateur FANUC page 29)

Une image contenant texte, diagramme, ligne, Tracé

Le contenu généré par l’IA peut être incorrect.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | **Conditions de réalisation :**   |  |  |  | | --- | --- | --- | | Matériels ou documents | Précisions sur la nature des matériels ou documents mis à la disposition du candidat | Remarques de la commission *(sur la recevabilité, les modifications souhaitées, )* | | **Support :**   * **système** * **sous-système** * **constituant** | **Système :** Cellule robotisée complète incluant le robot 6 axes **FANUC LR Mate 200iD/4S**, son contrôleur R-30iB Mate et son Teach Pendant. **Action :** L'étudiant doit interagir avec un système industriel complet, en respectant les procédures de sécurité. | *(Le support doit avoir été utilisé pendant la formation)* | | **Problème technique à résoudre :** | **Grandeurs à mesurer :** 1. **Répétabilité de position** (RPL en mm), via 3 déplacements cartésiens (dx, dy, dz). 2. **Overshoot dynamique** (en mm) **Action :** L'étudiant doit identifier ces paramètres à partir du dossier technique et comprendre leur signification industrielle. |  | | **Appareils :**   * **de mesures** * **de contrôles** * **d'essais** * **autres** | **Matériel mis à disposition :** - 3 comparateurs numériques (résolution ≤ 1 µm). - Gabarit de mesure 3D rigide (type "TriCal"). - Pointe sphérique de référence (TCP) montée sur le robot. - Charge calibrée de 1.5 kg. **Action :** L'étudiant doit assembler, positionner et caler avec précision le système de mesure. | *(Appareils identiques à ceux utilisés pendant la formation)* | | **Procédure :**   * **normes** * **protocoles** * **conçue par le candidat** | **Documents :** Le protocole expérimental détaillé est fourni dans le sujet. **Action :** L'étudiant doit suivre rigoureusement les étapes décrites, notamment la stabilisation thermique, la prise de 30 mesures consécutives et la manipulation des PAYLOADS. |  | | **Fiche**  **de résultats :**   * **avec** * **sans traitement informatique** | **Support :** Fichier TP\_Robot\_Reponses.xlsx. **Action :** Saisie correcte des 30x3 valeurs de mesure. Le fichier est fait pour effectuer les calculs (barycentre, distances euclidiennes, RPL). | (Si traitement info. aucune compétence spécifique exigée) | | Pour l'exposé oral :   * **tableau** * **audiovisuel** * **informatique** * **autre** | **Attendus :** - Comparaison de la valeur RPL calculée avec la spécification constructeur (±0.02 mm). - Interprétation des graphiques d'overshoot pour justifier l'importance de la déclaration de charge. **Action :** L'étudiant doit aller au-delà de la simple lecture de résultat et formuler une conclusion argumentée sur la qualification du robot pour l'application visée. |  | |  | |

**ANNEXE : Cahier des Charges pour la Réalisation des Outils de Mesure**

**A.1 Support de Mesure Tri-axial (Type "TriCal")**

**1. Objectif :**

Concevoir et réaliser un support mécanique rigide permettant de positionner trois comparateurs numériques de manière orthogonale pour mesurer les écarts de position (dx, dy, dz) d'une bille de référence fixée sur l'effecteur d'un robot.

**2. Spécifications Fonctionnelles :**

* Rigidité : Le support ne doit présenter aucune déformation mesurable (< 1 µm) sous l'effet de la légère pression des palpeurs des comparateurs.
* Géométrie : Les axes des trois comparateurs doivent être concourants en un point et orthogonaux entre eux (tolérance d'orthogonalité : ±0.5°).
* Réglage : Le support doit permettre un réglage fin de la position de chaque comparateur pour réaliser le contact initial et la mise à zéro (tare).
* Interface : Le support doit pouvoir être fixé solidement et de manière répétable sur la table de travail ou le bâti de la cellule robotique.

**3. Spécifications Techniques :**

* **Matériaux :**
* Base : Plaque en aluminium (type AU4G) ou en acier rectifié, épaisseur min. 15 mm.
* Montants : Profilés en acier ou aluminium de section suffisante pour garantir la rigidité.
* **Composants :**
* Porte-comparateurs : 3 supports magnétiques ou brides de fixation réglables pour comparateurs à queue de Ø8 mm.
* Mécanisme de contact : Les touches des comparateurs seront plates. Le point de convergence virtuel sera matérialisé par une petite pièce avec une empreinte conique ou triédrique pour accueillir la bille de référence.

**4. Procédure de validation :**

Une fois assemblé, la géométrie (orthogonalité, concourance) du support sera vérifiée sur une Machine à Mesurer Tridimensionnelle (MMT).

**A.2 Socle et Bille de Référence (TCP)**

**1. Objectif :**

Matérialiser le Point Central de l'Outil (TCP) du robot par une sphère de haute précision, fixée rigidement à l'extrémité du robot**.**

**2. Spécifications Techniques :**

* **Bille de référence :**
* Matériau : Acier inoxydable trempé ou céramique.
* Diamètre : Ø10 mm (ou autre standard).
* Qualité : Grade 5 (sphéricité < 0.13 µm, tolérance de diamètre ±0.5 µm).
* **Support de la bille (Socle) :**
* Interface : Le support doit se monter sur la bride de l'outil du robot FANUC (conformément aux plans du livret intégrateur, page 27).
* Conception : La bille sera collée ou sertie sur une tige rigide, elle-même fixée au centre de la bride. La longueur de la tige doit être suffisante pour éviter les collisions entre le gabarit de mesure et l'outil du robot.
* Rigidité : L'ensemble doit être parfaitement rigide pour qu'il n'y ait aucune flexion lors du contact avec les comparateurs.

**Référence :**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***Khirani, 2021*** | Contribution sur l’étude de répétabilité en position des robots industriels | **École de Technologie Supérieure, Montréal** |
| **Caglar Icli , Oleksandr Stepanenko, Ilian Bonev** | New Method and Portable Measurement Device for the Calibration of Industrial Robots | **École de Technologie Supérieure, Montréal** |
| **FANUC FRANCE** | Livret intégrateur - FANUC Robot LR Mate 200iD/4S |  |
| **Arif Şirinterlikçi, Murat Tiryakioğlu\*, Adam Bird, Amie Harris, Kevin Kweder** | Repeatability and Accuracy of an Industrial Robot: Laboratory Experience for a Design of Experiments Course | **Department of Engineering Robert Morris University** |
|  |  |  |

**Objectif**Mesurer la répétabilité de position d’un FANUC LR Mate 200iD/4S en N = 30 répétitions pour un point P cible, en utilisant trois comparateurs/dial-gauges (rapporteurs numériques) montés sur un support rigide.

Matériel nécessaire

* Robot FANUC LR Mate 200iD/4S avec le programme PROG\_REPETABILITE.
* 3 comparateurs numériques (résolution ≤ 1 µm, répétabilité interne ≤ 2 µm).
* Support mécanique rigide (plaque aluminium 10 mm + montants acier 20×20 mm).
* Bride de positionnement (pour fixer le support au sol ou à la table à côté du robot).
* Pointe sphérique de référence (bille acier Ø 6 mm) montée sur l’outil du robot (TCP).
* 3 porte-comparateurs réglables (magnetic bases ou paliers réglables) permettant d’orienter les touches de comparateur orthogonalement.
* PC avec TP\_Robot\_Reponses.xlsx et feuille “Répétabilité” prête.

Conception du support (résumé)

* Base : plaque 300×300×10 mm (aluminium ou acier). Fixée au sol ou sur table stable.
* Montants : 3 montants réglables (ou rails) formant un trièdre orthonormé autour du point d’intérêt. Chaque comparateur est fixé sur un bras réglable.
* Géométrie : les trois touches doivent converger vers **un même point de référence virtuel** (centre du petit cône où vient en contact la bille du TCP). L’angle entre touches : approximativement orthogonal (X, Y, Z) si possible.
* Positionnement : prévoir réglages micrométriques (vis) pour amener chaque touche au contact doux de la bille. Les touches doivent pouvoir être enlevées et remises de façon répétée.

Montage initial et mise en place

1. Fixer la plaque support sur le sol/table. Vérifier planéité.
2. Installer 3 porte-comparateurs de façon à ce que leurs touches se rejoignent sur un point unique situé à l’aplomb du TCP attendu quand le robot est en position nominale.
3. Monter une petite **bille repère** (Ø 6 mm) ou pointe sphérique sur l’outil du robot (collage mécanique ou bride) ; la bille devient la référence de contact.
4. Approcher le robot (manuellement en mode JOINT ou FINE) et positionner la bille au centre du tripoint des touches, sans pression.
5. Calage : avec le robot en position « référence » (point zéro pour le test), faire toucher chaque comparateur **légèrement** à la bille. Mettre chaque comparateur à zéro (tare). Noter : *étape essentielle* → cette position est le zéro de référence (P\_ref).
6. Retirer la bille, puis la repositionner pour vérifier la reproductibilité du réglage (s’il y a un petit jeu, corriger).

Protocole de prise de mesures (30 répétitions)

1. Safety first : cellule sécurisée, teach pendant dispo, personne hors de la zone.
2. Assurer que le robot et l’environnement ont atteint stabilité thermique (pré-chauffer : 10 cycles à vitesse normale).
3. Déclarer/activer **PAYLOAD** correspondant (voir partie Payload du TP). Si tu mesures pour payload 0 et payload 1.5 kg, faire la série à vide puis la série en charge (voir §Payload plus bas).
4. Lancer PROG\_REPETABILITE (point P fixe). Pour chaque répétition i = 1..30 :  
   a. Démarrer cycle depuis l’interface ou en TPE.  
   b. Laisser le robot aller au point P et s’immobiliser (FINE/FINE approach si programmé).  
   c. Attendre 2 s après FINE pour permettre amortissement (décommenter si besoin).  
   d. Lire les 3 valeurs comparateurs (d\_x^{(i)}, d\_y^{(i)}, d\_z^{(i)}) en µm et reporter dans la feuille Excel (colonnes X, Y, Z).  
   e. Remettre le robot à la position d’origine (si le programme ne le fait pas automatiquement).
5. À la fin des 30 répétitions, sauvegarder le fichier Excel.

Calculs (feuille Excel)

* Convertir µm → mm si besoin.
* Moyennes : (\bar{x},\bar{y},\bar{z}).
* Écarts-types : (\sigma\_x,\sigma\_y,\sigma\_z).
* **σ\_radial** (métrique recommandée) :  
  $$  
  \sigma\_{\text{radial}} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum\_{i=1}^n \big[(x\_i-\bar{x})^2 + (y\_i-\bar{y})^2 + (z\_i-\bar{z})^2\big]}.  
  $$
* **R\_max** (max radial) : ( \max\_i \sqrt{(x\_i-\bar{x})^2+(y\_i-\bar{y})^2+(z\_i-\bar{z})^2}).
* Rapporter aussi (x\_max − x\_min), (y\_max − y\_min),(z\_max − z\_min) pour diagnostic.

Critères d’acceptation (suggestion pédagogique)

* Si (\sigma\_{\text{radial}} \le 0{,}02\ \text{mm}) → conforme au constructeur (interpréter 0,02 mm comme 1σ).
* Toujours fournir R\_max pour évaluer le pire cas.

Remarques pratiques / pièges à éviter

* **Orientation d’approche** : programmé le robot pour arriver au point P toujours par la même trajectoire/approche (même direction) — l’orientation d’approche influence l’effet d’overshoot et la répétabilité.
* **Contacts fragiles** : ne pas forcer le contact (risque d’écraser la bille). Utiliser un contact léger pour lecture, puis remonter.
* **Vibrations** : éviter chocs sur la table ; prévoir fixation antivibration si possible.
* **Déclarations PAYLOAD** : toujours déclarer la charge utilisée (ou la laisser à « vide » pour l’estimation automatique) — voir livret FANUC.

Remise des résultats

* Table des 30 mesures (X,Y,Z).
* Calculs demandés (σ\_x,σ\_y,σ\_z,σ\_radial,R\_max).
* Conclure sur conformité et proposer améliorations ou investigations si écart > spécification.

Fin du protocole.

**Influence de la charge (Payload) — protocole et points d’analyse**

Points issus du livret FANUC à respecter :

* Le robot impose de **déclarer** la charge (PAYLOAD) dans le contrôleur pour optimiser asservissement. Une procédure d’estimation automatique existe (IDENT) après calibration PAYLOAD; la déclaration manuelle est aussi possible (masse, CG, inerties).

LRMate200iD\_4S-Livret-Integrate…

Protocole expérimental proposé (45 min comme dans TP mais plus précis)

1. **Séries à vide** : mettre payload = 0 (ou positionner PAYLOAD N°1 = 0 kg). Lancer PROG\_TRAJECTOIRE (même trajectoire et vitesse que pour la série en charge). Mesurer la position finale après stabilisation (avec comparateur numérique) et noter l’overshoot (épaisseur: distance entre visee nominale et position d’arrêt après amortissement). Répéter 10 cycles.
2. **Séries en charge** : fixer la charge 1.5 kg (préhenseur + pièce) sur l’outil. Déclarer PAYLOAD N°2 (soit manuellement soit après estimation automatique suivant la procédure du livret). Vérifier que la charge respecte le diagramme d’admissibilité (CG dans la zone).
3. Exécuter 10 cycles, mesurer overshoot et position finale.
4. **Analyse** : comparer moyennes et σ des overshoots entre 0 kg et 1.5 kg. Analyser :
   * variation du **temps de stabilisation** (t\_settle),
   * augmentation de l’overshoot (amplitude et dispersion),
   * nécessité de recalibrer PAYLOAD (si déclaration erronée, asservissement sub-optimal).
5. **Étape complémentaire** : simuler une **mauvaise déclaration** (par ex. déclarer 0 kg alors que robot porte 1.5 kg) et répéter 10 cycles pour montrer l’effet (vibrations, overshoot accru, risque d’usure). Documenter.

Précautions / recommandations

* Utiliser la procédure d’estimation automatique si disponible (IDENT screen) pour calculer inerties et enregistrer un PAYLOAD (voir livret). La procédure exige conditions spécifiques et peut être moins précise si le bras est vertical — attention aux positions d’estimation (points 1 & 2).

**Mesure et validation du temps de cycle**

Méthodes possibles (précises et reproductibles) :

1. **Instrumentation via E/S du robot** (recommandée) : modifier le programme PROG\_TRAJECTOIRE pour *commander une sortie numérique* (par ex. DO bit) à 1 au début du cycle et à 0 à la fin. Mesurer la largeur d’impulsion sur un enregistreur logique, oscilloscope ou acquisition PC (résolution ms). Avantage : très précis, indépendant des temps humains.
   * Exemple TPE (pseudo) :
   * $DO[50] = 1 ; ; start signal
   * WAIT 0.01 ;
   * CALL TRAJECTOIRE...
   * $DO[50] = 0 ; ; end signal
   * Mesurer largeur impulsion avec un enregistreur (ou un chronomètre numérique sur PC).
2. **Méthode externe photogate / capteur** : placer un capteur photoélectrique détectant l’état d’un élément manipulé (ou une étiquette) et mesurer temps entre deux transitions. Utile si pas possible de modifier le programme.
3. **Mesure « humaine » ou teach pendant** : lancer le cycle et utiliser la fonction chronomètre du teach pendant — peu recommandé car résolution et reproductibilité faibles.

Protocole recommandé

* Instrumenter le programme pour sortir un signal DO au début et fin du cycle (méthode la plus robuste). Enregistrer 30 cycles et calculer moyenne, σ et R\_max.
* Comparer le temps moyen mesuré tmest\_{mes}tmes​ à t\_sim = 2,15 s. Analyser pourcentage d’écart :

Δ%=tmes−2,152,15×100%.\Delta\% = \frac{t\_{mes} - 2{,}15}{2{,}15}\times 100\%.Δ%=2,15tmes​−2,15​×100%.

* Critère d’acceptation pédagogique : écart ≤ 5% acceptable (proposition) ; si plus, vérifier vitesses d’axes, trajectoire CNT/POINT settings, puis vérifier si PAYLOAD influent (déclarez charge).

Remarque : la déclaration PAYLOAD peut influencer le temps de cycle si l’asservissement réduit accélérations disponibles (surtout si robot limite par sécurité/inertia mode). Vérifier aussi les paramètres CNT100 / CNT0 et taux d’accélération dans le programme (livret comporte recommandations).

LRMate200iD\_4S-Livret-Integrate…

**Récapitulatif rapide / checklist pour l’enseignant**

Avant la séance :

* Préparer support mécanique et 3 comparateurs (voir protocole).
* Charger programmes PROG\_REPETABILITE et PROG\_TRAJECTOIRE.
* Préparer feuille Excel TP\_Robot\_Reponses.xlsx avec colonnes X,Y,Z et calculs automatiques (moyenne, σ, σ\_radial, R\_max).

TP\_U9\_Qualification\_Robot\_2027

Pendant la séance :

* Vérifier calibration quick master si nécessaire; vérifier PAYLOAD declared for tests (livret).
* Faire cycles de rodage pour stabilité thermique.
* Suivre protocole de prise de mesures détaillé fourni dans le document.

Après la séance :

* Analyser σ\_radial et R\_max ; produire un court rapport : conformité (oui/non), signatures, actions recommandées (recalibrer payload, réduire vitesse, maintenance).

**Bien comprendre les points suivants :**

**La Nuance Fondamentale entre "Coordonnée" et "Mesure"**

1. Le Repère du Robot : Le robot se déplace dans son propre repère. Quand il va à la position de mesure, il vise une cible dont les coordonnées sont, par exemple, X=500, Y=200, Z=350 dans le repère de sa base.
2. Notre Dispositif de Mesure : Notre gabarit à 3 comparateurs, lui, ne connaît absolument pas le repère du robot. Il ne fait qu'une seule chose : mesurer des écarts par rapport à une position de référence que *nous* avons définie.

**Comment ça fonctionne en pratique (étape par étape) ?**

1. Création du "Zéro Relatif" (Calage) :
   * On amène le robot une première fois au contact des 3 comparateurs.
   * À cet instant précis, on appuie sur le bouton "Zéro" ou "Tare" de chaque comparateur.
   * À partir de ce moment, cette position devient le point (0, 0, 0) pour notre système de mesure. On a créé une origine locale et arbitraire.
2. La Mesure d'un "j-ième point" :
   * Le robot s'éloigne, puis revient pour effectuer la mesure N°j.
   * À cause des micro-erreurs, il ne revient jamais *exactement* à la position de départ.
   * Les comparateurs vont alors afficher les écarts. Par exemple :
     + Le comparateur sur l'axe X affiche : +0.004 mm
     + Le comparateur sur l'axe Y affiche : -0.002 mm
     + Le comparateur sur l'axe Z affiche : +0.003 mm
   * Ce triplet de valeurs (+0.004, -0.002, +0.003) constitue les coordonnées de notre "j-ième point mesuré" dans la formule.

En résumé : les (x\_j, y\_j ,z\_j) de notre calcul ne sont pas des coordonnées absolues dans l'espace, mais bien des coordonnées relatives d'erreur par rapport à un point zéro que nous avons nous-mêmes défini.

Pourquoi est-ce que ça fonctionne ?

**Parce que la répétabilité n'est pas la mesure de la capacité du robot à atteindre une position absolue (ça, c'est l'exactitude), mais sa capacité à revenir toujours au même endroit.** On ne s'intéresse qu'à la dispersion (la taille du "nuage" de points), pas à sa position dans l'espace.

En créant un point zéro arbitraire et en mesurant tous les écarts par rapport à ce point, on mesure parfaitement la taille et la forme de ce nuage d'erreurs, ce qui est exactement l'objectif du calcul de la répétabilité selon la norme ISO 9283.