

Optimisation et Test des Systèmes de **Mise à la Terre**

Basé sur la Brochure Technique CIGRE 749 : Optimisation par l'Analyse
Quantifiée des Risques (AQR).



Présentation Technique

Méthodologies & Normes

Évolution de la Philosophie de Sécurité

▣ Approche Traditionnelle

Basée sur des limites de tension fixes et déterministes (ex: limites de tension de contact IEEE 80 ou CEI 61936).

Suppose souvent des scénarios "pire cas" qui peuvent conduire à des coûts excessifs sans nécessairement garantir la sécurité réelle.

📈 Approche Optimisée (CIGRE)

Utilise l'Analyse Quantifiée des Risques (AQR).

Prend en compte la nature probabiliste de l'événement :
 $\text{probabilité de défaut} \times \text{probabilité de présence} \times \text{probabilité de fibrillation}$.

Permet de justifier les investissements là où le risque est réel.

Cycle de Vie & Tests

Conception

Utilisation de modèles de sol multicouches et simulation AQR pour définir les cibles de sécurité.

Mise en Service

Validation cruciale par tests d'injection de courant et mesures de résistivité réelles.

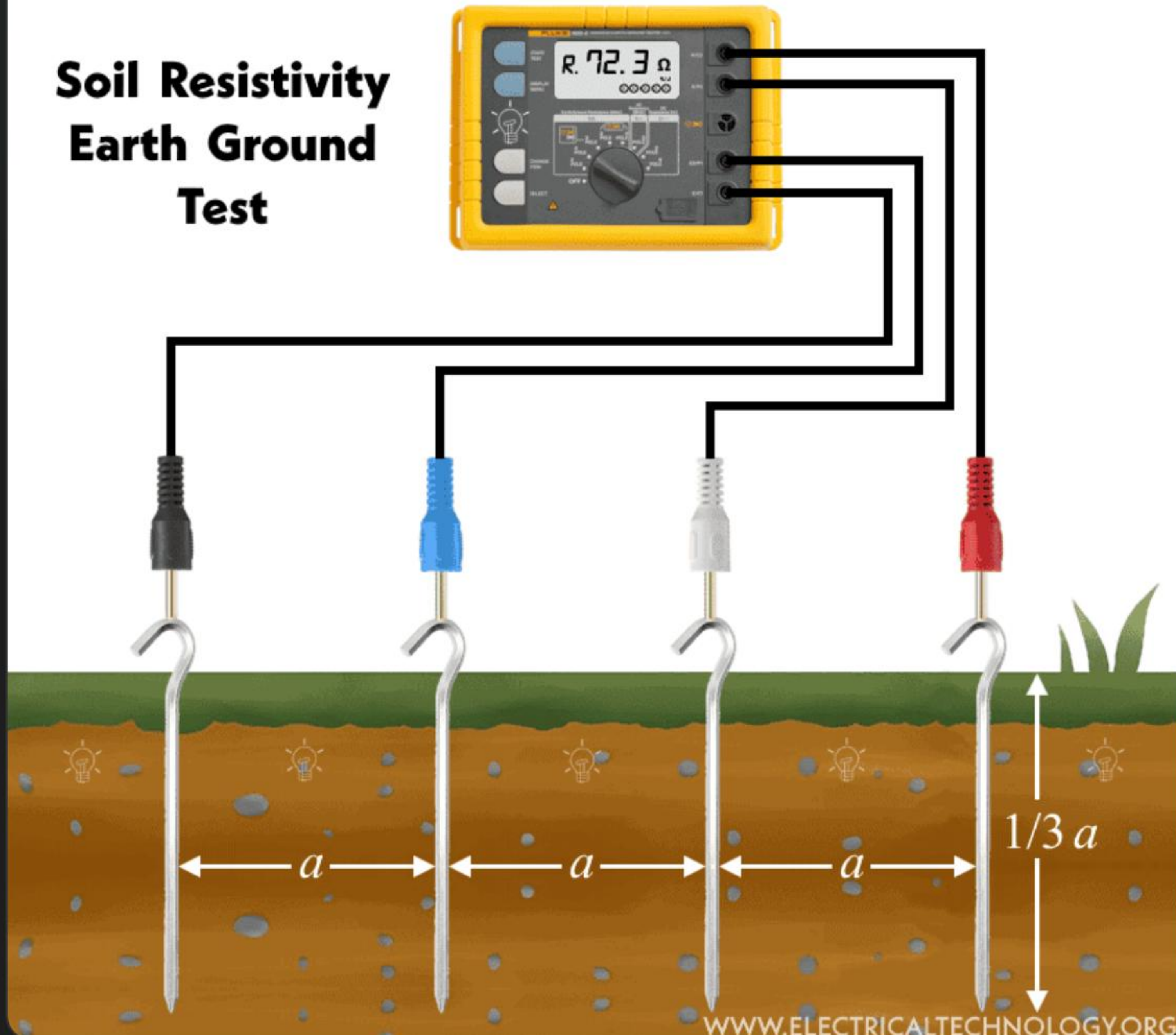
Supervision

Inspections périodiques et tests de continuité pour contrer la corrosion et le vol.

1. Mesure de Résistivité du Sol

Wenner Method - Four Point Method

Soil Resistivity Earth Ground Test



La Fondation du Design

La performance d'une prise de terre dépend intrinsèquement du sol.

- Méthode Wenner : Standard pour obtenir des profils de sol multicouches.
- Variabilité : Les tests doivent tenir compte des variations saisonnières (gel, sécheresse) qui affectent les couches superficielles.
- Impact AQR : Une mauvaise modélisation du sol peut fausser les calculs de risque de fibrillation d'un facteur 10.

2. Montée en Potentiel (EPR)

Le Danger Réel

L'EPR (Earth Potential Rise) est la tension maximale atteinte par la grille par rapport à la terre lointaine.

Contrairement aux modèles simples, le CIGRE 749 recommande de calculer l'EPR en considérant la distribution du courant de défaut via les câbles de garde et les gaines de câbles (facteur de réduction).

Une réduction de l'EPR à la source est souvent plus efficace que l'ajout de cuivre local.



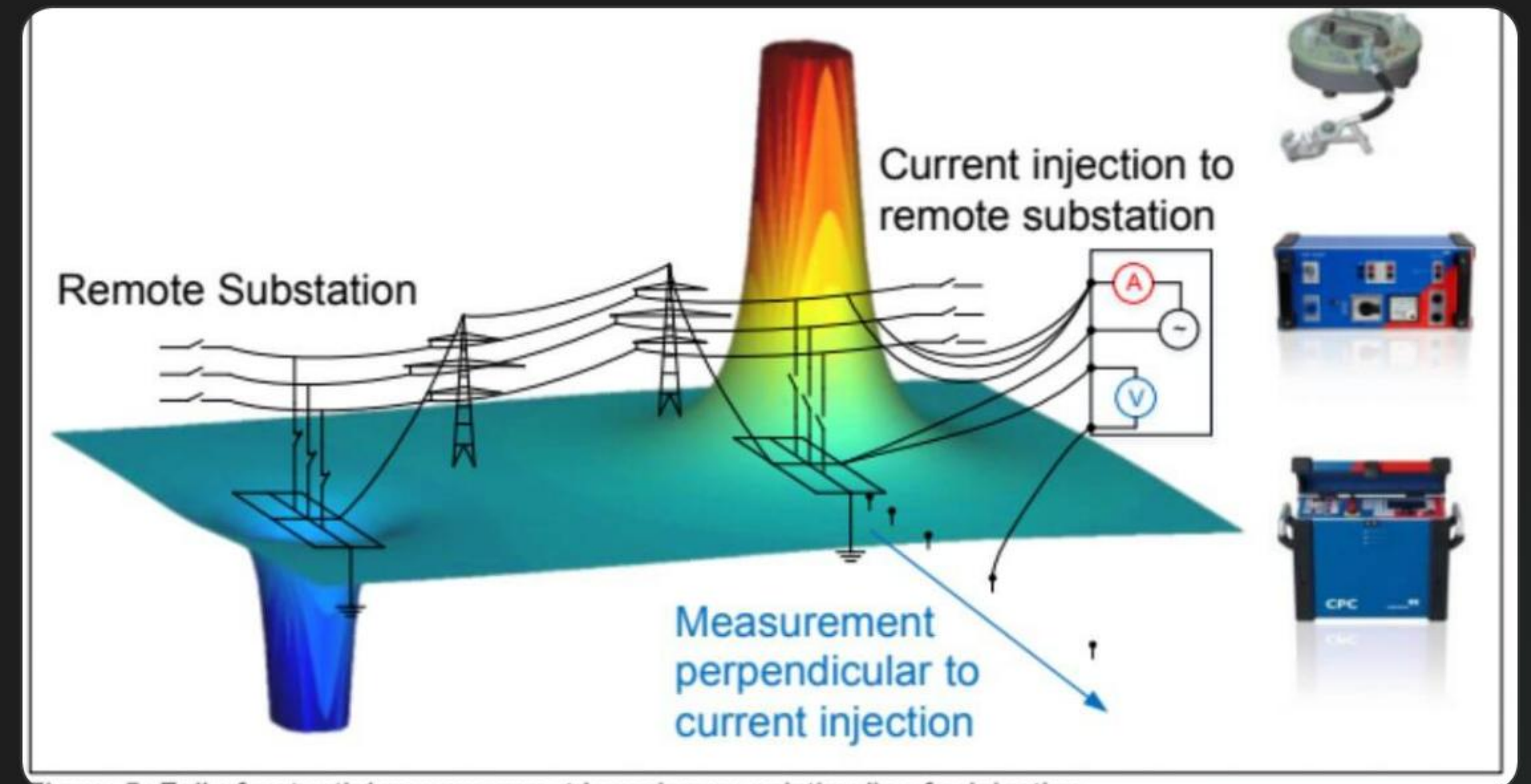
3. Test par Injection de Courant

La Méthode "Gold Standard"

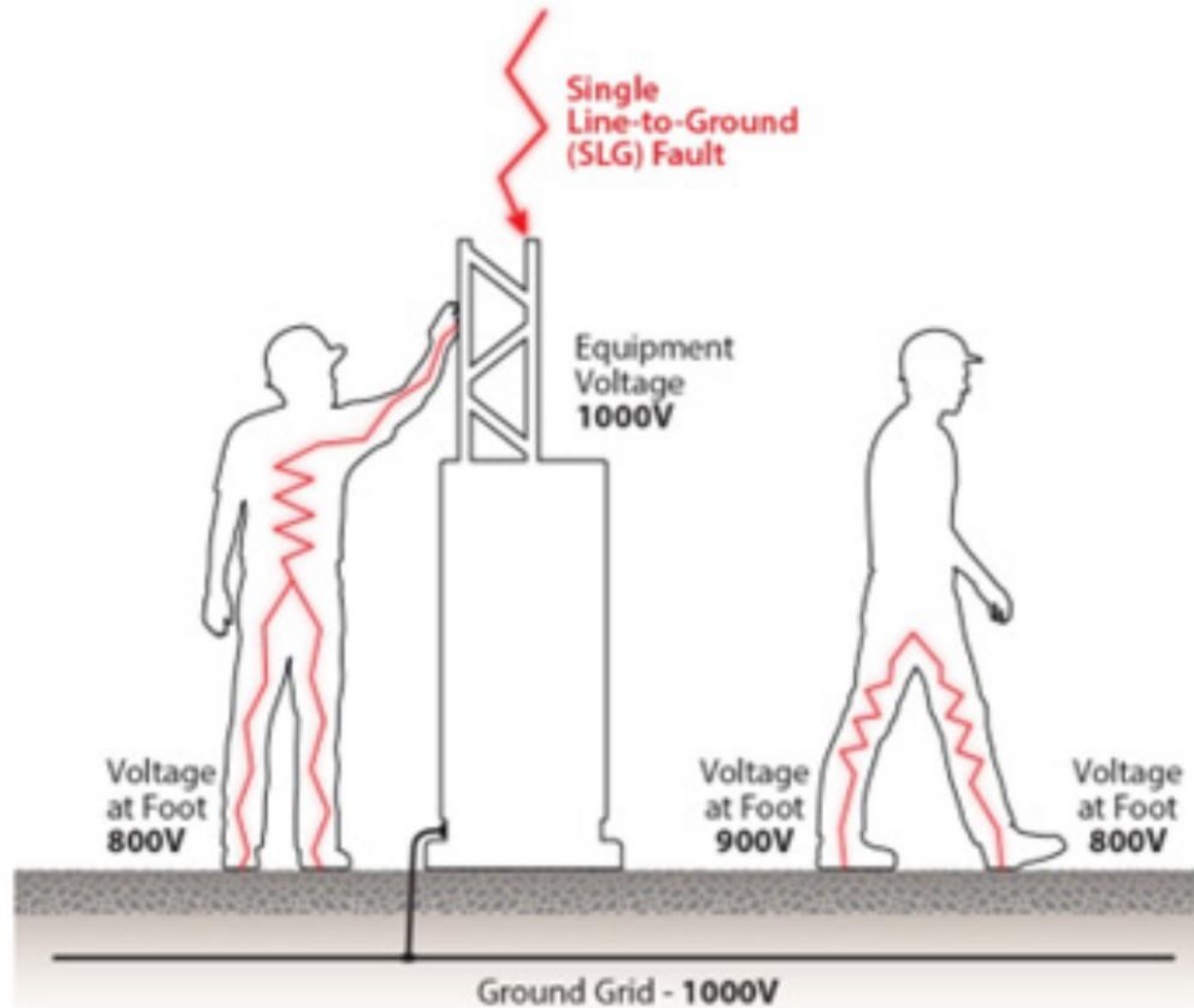
Pour les postes complexes, la mesure de résistance simple est insuffisante.

L'injection de courant (basse ou haute fréquence) simule un défaut réel pour mesurer :

- L'impédance réelle de boucle de terre.
- Les tensions de pas et de contact réelles.
- La distribution du courant (combien revient par la terre vs les câbles de garde).



4. Tensions de Pas et de Contact



Scénarios Critiques

Le risque n'est pas uniforme. L'AQR exige d'identifier les scénarios spécifiques :

- Tension de Contact (Touch) : Main sur structure métallique, pieds au sol. Risque élevé car le courant traverse le cœur.
- Tension de Pas (Step) : Entre les deux pieds. Risque généralement plus faible.
- Facteurs atténuants : Chaussures, gravier, asphalte (haute résistivité de surface).

L'Analyse Quantifiée des Risques (AQR)

Le cœur de l'optimisation selon CIGRE 749 est le calcul de la probabilité réelle de fatalité individuelle.

$$P_{\text{fatalité}} = P_{\text{fibrillation}} \times P_{\text{coincidence}}$$

P(fibrillation)

Fonction de la tension appliquée, de l'impédance du corps et de la durée du défaut.

P(coincidence)

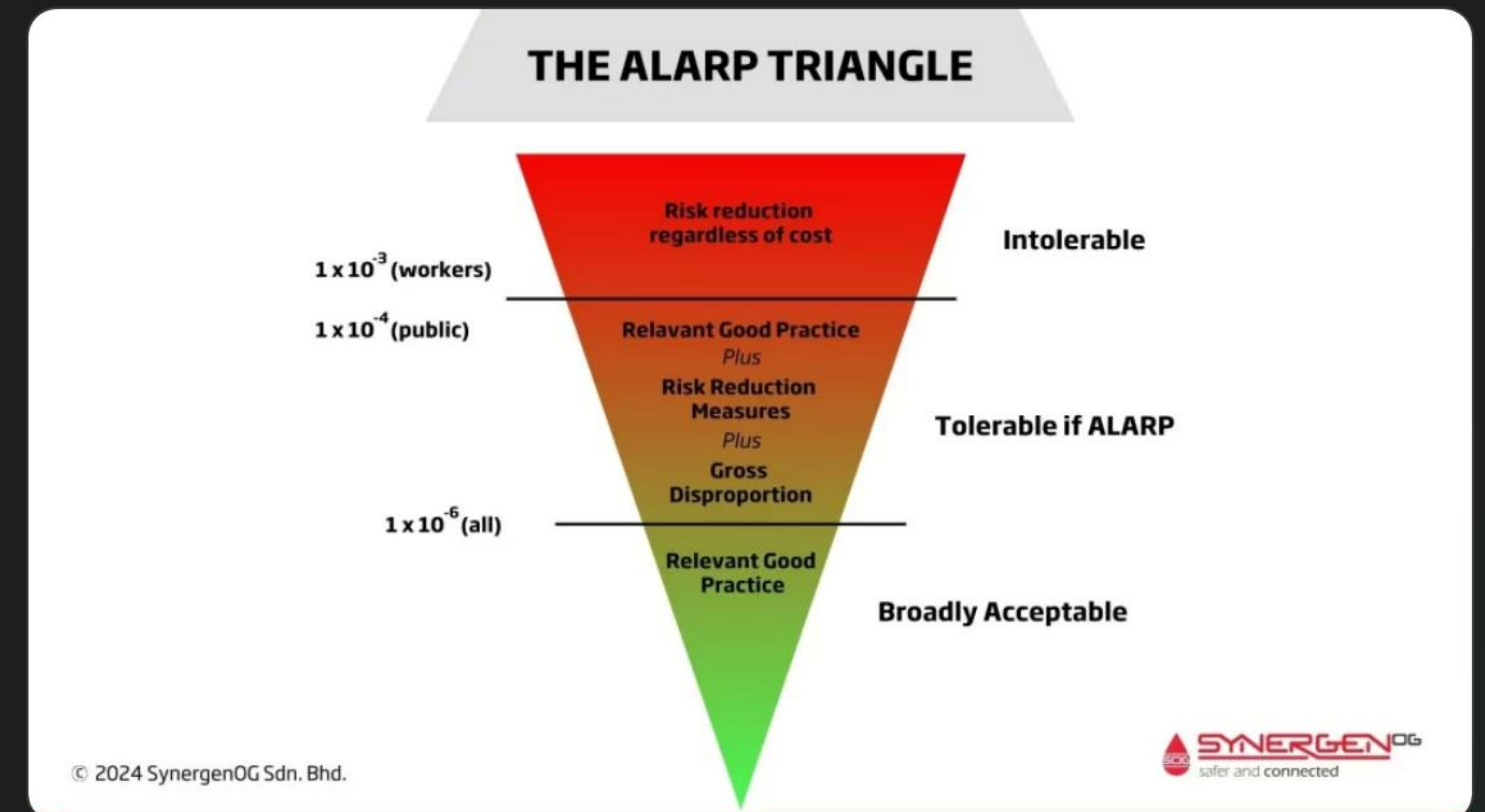
Probabilité qu'une personne soit présente et touche la structure au moment exact du défaut.

Tolérabilité du Risque (ALARP)

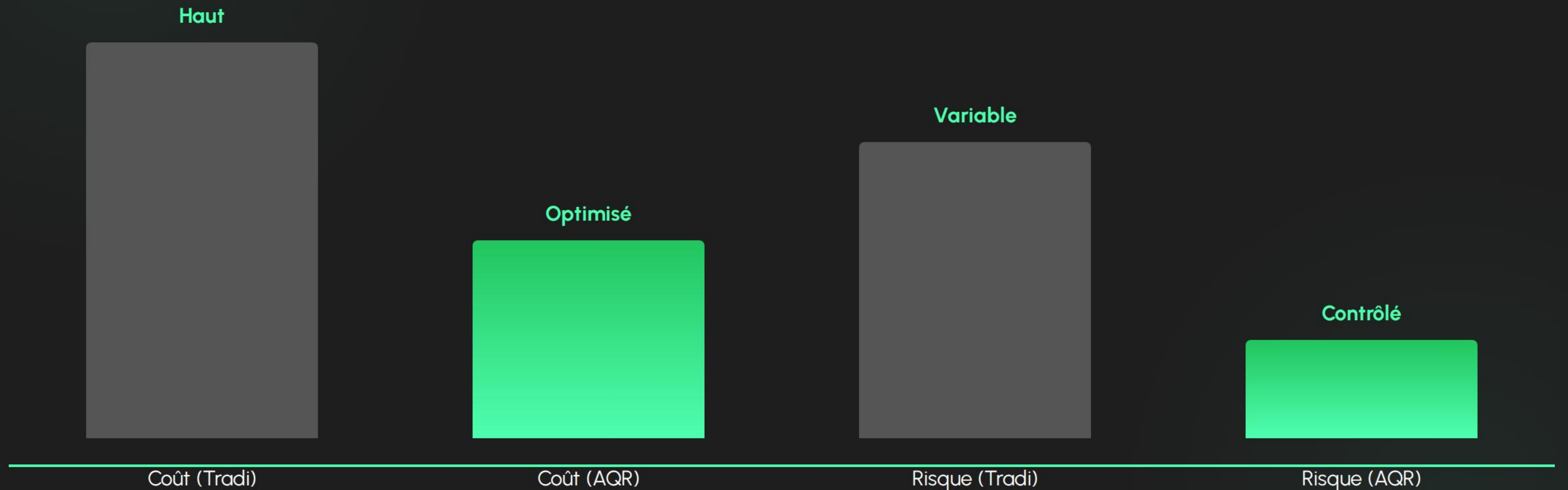
Cadre de Gestion

L'objectif n'est pas le risque zéro, mais un risque tolérable.

- Intolérable : Le risque doit être réduit quel que soit le coût.
- ALARP (As Low As Reasonably Practicable) : Le risque doit être réduit sauf si le coût est disproportionné.
- Négligeable : Aucune action requise (ex: $< 10^{-6}$ par an).



Optimisation : Coût vs Sécurité



L'approche AQR permet souvent de valider des installations existantes sans rénovations coûteuses, ou de cibler les investissements là où ils sauvent des vies.



Supervision & Maintenance

Changements Prévisibles

Un système sûr aujourd'hui peut ne pas l'être demain. Le CIGRE 749 impose de surveiller :

- Réseau : Augmentation des courants de court-circuit.
- Environnement : Urbanisation (clôtures, piscines proches).
- Intégrité : Corrosion des conducteurs ou vol de cuivre.

La maintenance doit être guidée par le risque, et non seulement par le calendrier.

Conclusion

L'adoption des normes CIGRE 749 et de l'AQR transforme la mise à la terre d'une contrainte de conformité en un atout de sécurité optimisé.

Sécurité

Validée par des tests réels et une analyse probabiliste.

Efficacité

Investissements ciblés et justification économique robuste.

Avez-vous des questions ?