



# Démonstration du Programme d'Analyse **'CHRONON'**

Un aperçu factuel du processus : de l'acquisition des données à la validation des résultats.

# Objectif du Programme CHRONON

Le programme CHRONON est un outil d'analyse scientifique conçu pour réaliser un pipeline complet de traitement de données, de la configuration expérimentale à la conclusion statistique validée. Son objectif principal est d'automatiser et de fiabiliser la détection de signaux faibles en s'appuyant sur :

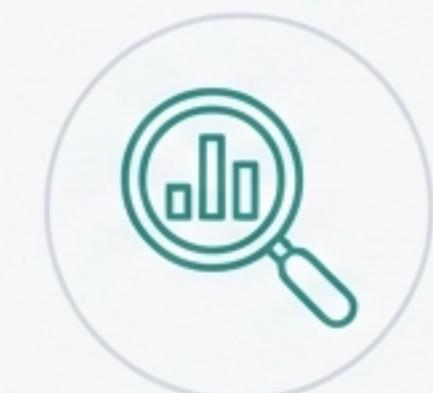
- Un contrôle rigoureux de l'acquisition des données.
- Une batterie de tests diagnostiques automatisés pour valider la qualité du modèle.
- Des visualisations avancées pour une interprétation approfondie.
- Une synthèse claire et un verdict final fondé sur des preuves.



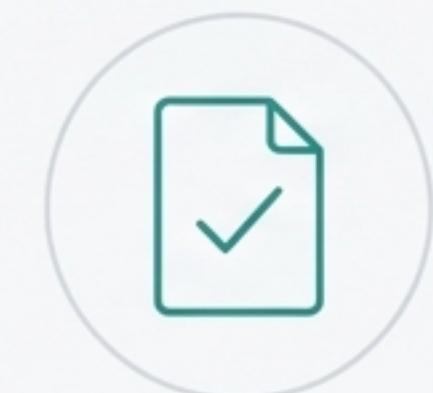
Paramétrage



Acquisition



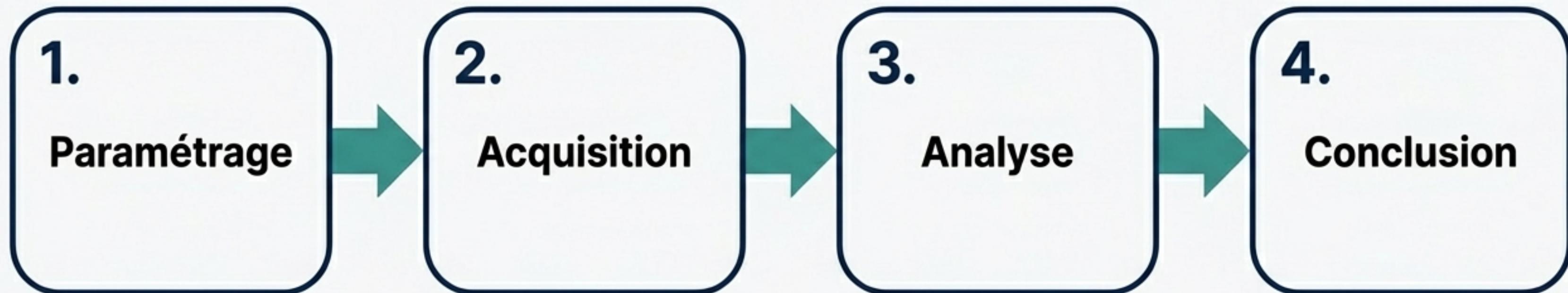
Analyse



Conclusion

# Le Flux de Travail en Quatre Étapes Clés

La démonstration suivra le parcours logique d'un utilisateur au sein du programme. Chaque étape s'appuie sur la précédente pour construire un résultat final robuste et transparent.



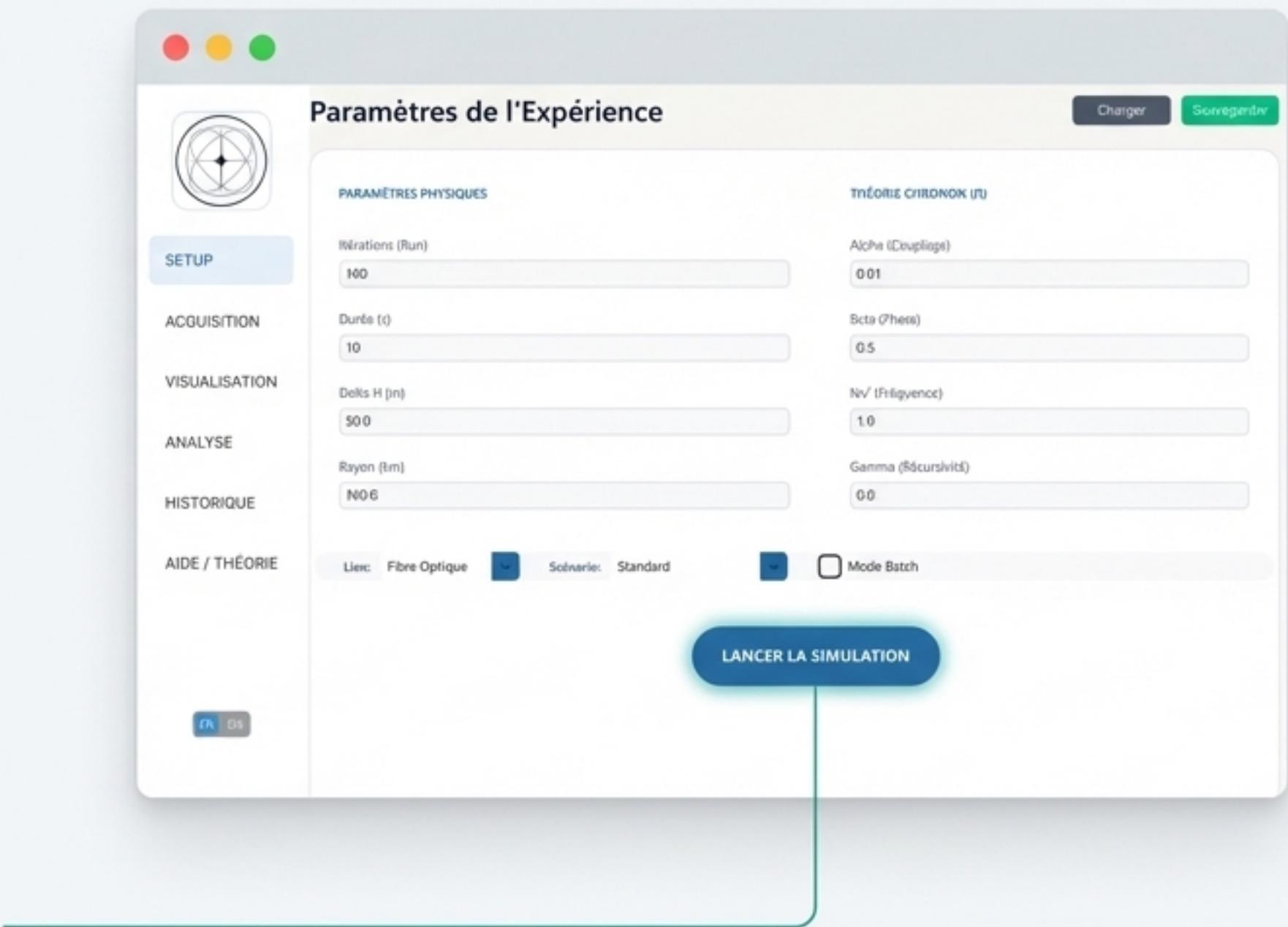
- 1. Paramétrage** : Définition des conditions de l'expérience.
- 2. Acquisition** : Collecte des données en temps réel.
- 3. Analyse** : Exécution des tests et exploration des résultats.
- 4. Conclusion** : Synthèse et verdict automatisé.

# Étape 1 : Configuration Précise de l'Expérience

**Description du visuel :** L'interface de configuration ('SETUP') où l'utilisateur définit tous les paramètres initiaux. Elle est divisée en 'Paramètres Physiques' (Itérations, Durée, Delta H, Rayon) et 'Théorie CHRONON' (Alpha, Beta, Nu, Gamma).

## Fonctionnement du programme :

- C'est le point d'entrée obligatoire du processus. Le programme capture ici les variables qui régiront la simulation ou l'acquisition de données.
- La distinction entre les paramètres physiques et théoriques permet une grande flexibilité pour tester différents scénarios.
- Le bouton 'LANCER LA SIMULATION' initie la phase suivante sur la base de cette configuration exacte.



# Étape 2 : Acquisition et Monitoring en Temps Réel

## Description du visuel :

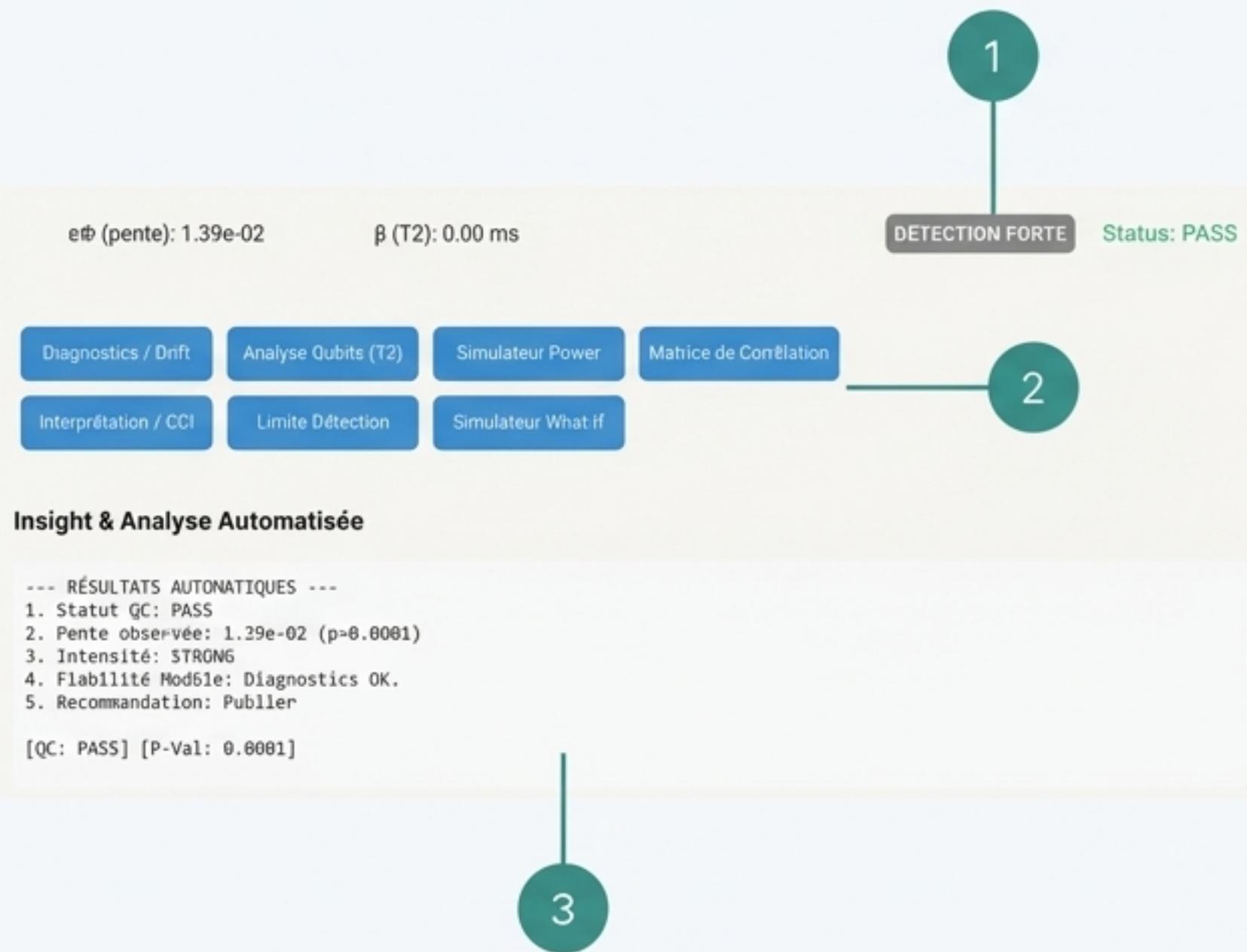
La séquence illustre le cycle de vie de l'acquisition : l'état initial 'PRÊT', l'état 'ACQUISITION' actif avec un log des données (Temp, Phi) et un tracé en direct, et l'état final 'TERMINÉ'.



## Fonctionnement du programme :

- Le programme fournit un retour visuel immédiat et clair sur le statut du processus.
- Durant l'acquisition, les données brutes sont affichées en temps réel (ex: 'Run 27: Temp=20.10C, Phi=-1.1884'), permettant à l'opérateur de surveiller le bon déroulement de l'expérience.
- Cette transparence assure que les données collectées sont conformes aux attentes avant de passer à l'analyse.

# Étape 3 : Le Hub d'Analyse et de Visualisation



**Description du visuel :** Le tableau de bord principal post-acquisition. Il affiche les **résultats clés** en haut (pente  $\epsilon\Phi$  : 1.39e-02), un verdict de haut niveau ('DÉTECTION FORTE', '**Status: PASS**'), et une série de boutons pour lancer des analyses détaillées (Diagnostics, Simulateur, etc.).

## Fonctionnement du programme :

- Après l'acquisition, le programme effectue une première analyse automatique et présente les résultats principaux et leur significativité ( $p=0.0001$ ).
- Cette interface sert de point de départ pour des investigations plus poussées ('deep dives'). Chaque bouton ouvre un module d'analyse spécifique.
- La section 'Insight & Analyse Automatisée' fournit un résumé textuel des conclusions statistiques, confirmant la force du signal et la fiabilité du modèle, avec une 'Recommandation: Publier'.

# Analyse des Résidus : Le Contrôle Qualité du Modèle

## Description du visuel :

Un panneau de quatre graphiques diagnostiques pour évaluer la validité du modèle statistique : un histogramme des résidus, un Q-Q plot, un tracé des résidus par ordre chronologique, et un plot d'autocorrélation (ACF).

## Ce qu'il montre sur le fonctionnement :

Le programme teste automatiquement les hypothèses fondamentales de la régression :

1. **Normalité des résidus** (Histogramme et Q-Q Plot) : Les erreurs suivent-elles une distribution normale ?
2. **Absence de structure temporelle** (Résidus vs Ordre) : Les erreurs sont-elles aléatoires dans le temps (homoscédasticité) ?
3. **Indépendance des résidus** (ACF) : Une erreur n'est-elle pas corrélée avec les précédentes ?

## Analyse avancée :

Les tests statistiques en haut confirment quantitativement ce que les graphiques suggèrent. Les p-values élevées ('**Normality** p=0.2209', '**Autocorr**' p=0.0832', '**Heteroscedasticity**', '**Heteroscedasticity** p=0.9992) mènent au statut 'PASS' pour chaque test. Le Q-Q plot montre des points très proches de la ligne théorique, et l'ACF n'a pas de pics significatifs.

**Conclusion : Le modèle est statistiquement sain et fiable.**



# Analyse de Stabilité Temporelle : Détection de Dérive (Drift)

## Description du visuel :

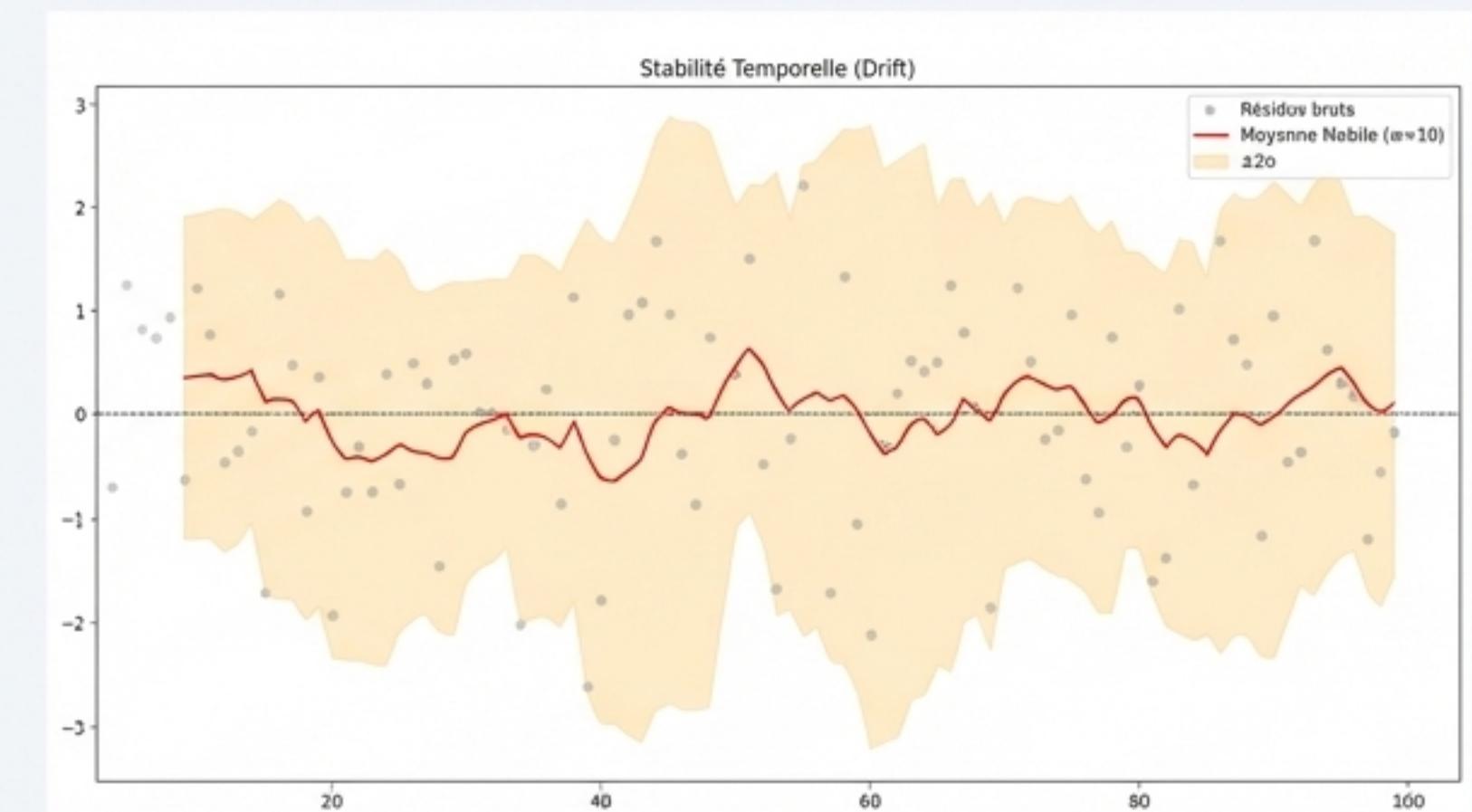
Le graphique supérieur ('Stabilité Temporelle') trace les résidus bruts (points gris) au fil du temps, superposés à une moyenne mobile (ligne rouge) et une bande d'écart-type (zone jaune).

## Ce qu'il montre sur le fonctionnement :

Le programme évalue si la performance du modèle est constante tout au long de l'expérience. Une dérive systématique (la ligne rouge s'éloignant durablement de zéro) indiquerait une instabilité dans le modèle ou le système mesuré.

## Analyse avancée :

La moyenne mobile (ligne rouge) oscille de manière aléatoire autour de la ligne de base zéro, sans tendance claire à la hausse ou à la baisse. La grande majorité des points reste dans la bande de confiance jaune. **Ceci indique une excellente stabilité temporelle du système et du modèle, renforçant la validité des résultats globaux.**

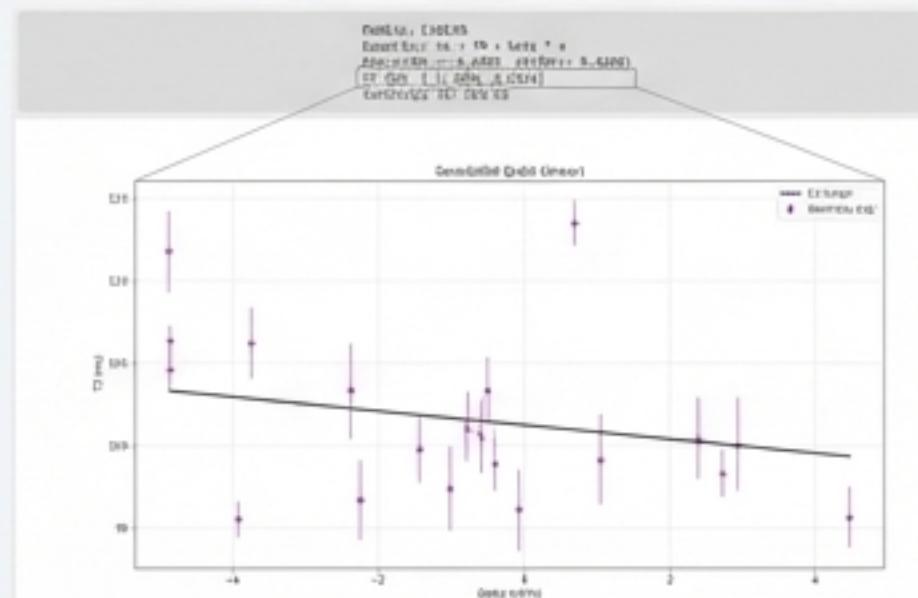


# Analyses Ciblées : Exemple de la Sensibilité d'un Qubit

**Description du visuel :** Un graphique montrant la relation entre le temps de cohérence T2 (ms) et la variable 'Delta ln(Phi)'. Un ajustement linéaire (ligne noire) est superposé aux données expérimentales (points violets avec barres d'erreur).

**Ce qu'il montre sur le fonctionnement :** Le programme permet d'isoler des sous-systèmes pour des analyses dédiées. Il calcule non seulement la pente de la relation (**Param Beta = -0.4009**) mais aussi son intervalle de confiance statistique.

**Analyse avancée :** Le point crucial ici est l'intervalle de confiance à 95 % pour Beta : **[-1.3366, 0.2419]**. Puisque cet intervalle inclut zéro, le programme conclut correctement que la pente observée n'est pas statistiquement significative. Il démontre sa capacité à ne pas sur-interpréter les tendances qui pourraient être dues au hasard.



# Exploration des Interdépendances : La Matrice de Corrélation

## Description du visuel:

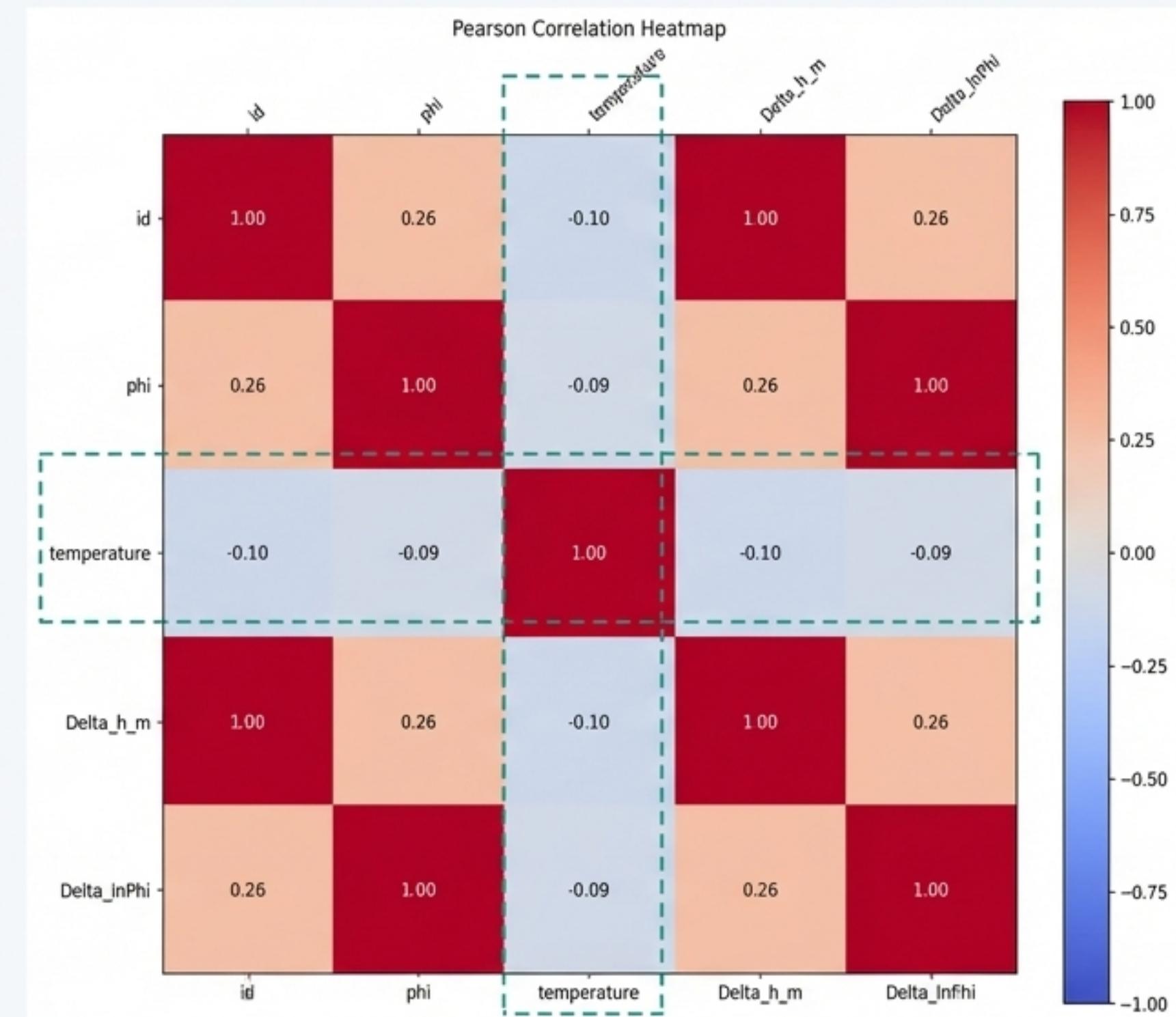
Une 'heatmap' (carte de chaleur) visualisant le coefficient de corrélation de Pearson entre toutes les paires de variables mesurées (id, phi, temperature, etc.). Le rouge indique une corrélation positive forte, le bleu une corrélation négative forte, et le blanc une corrélation proche de zéro.

## Ce qu'il montre sur le fonctionnement:

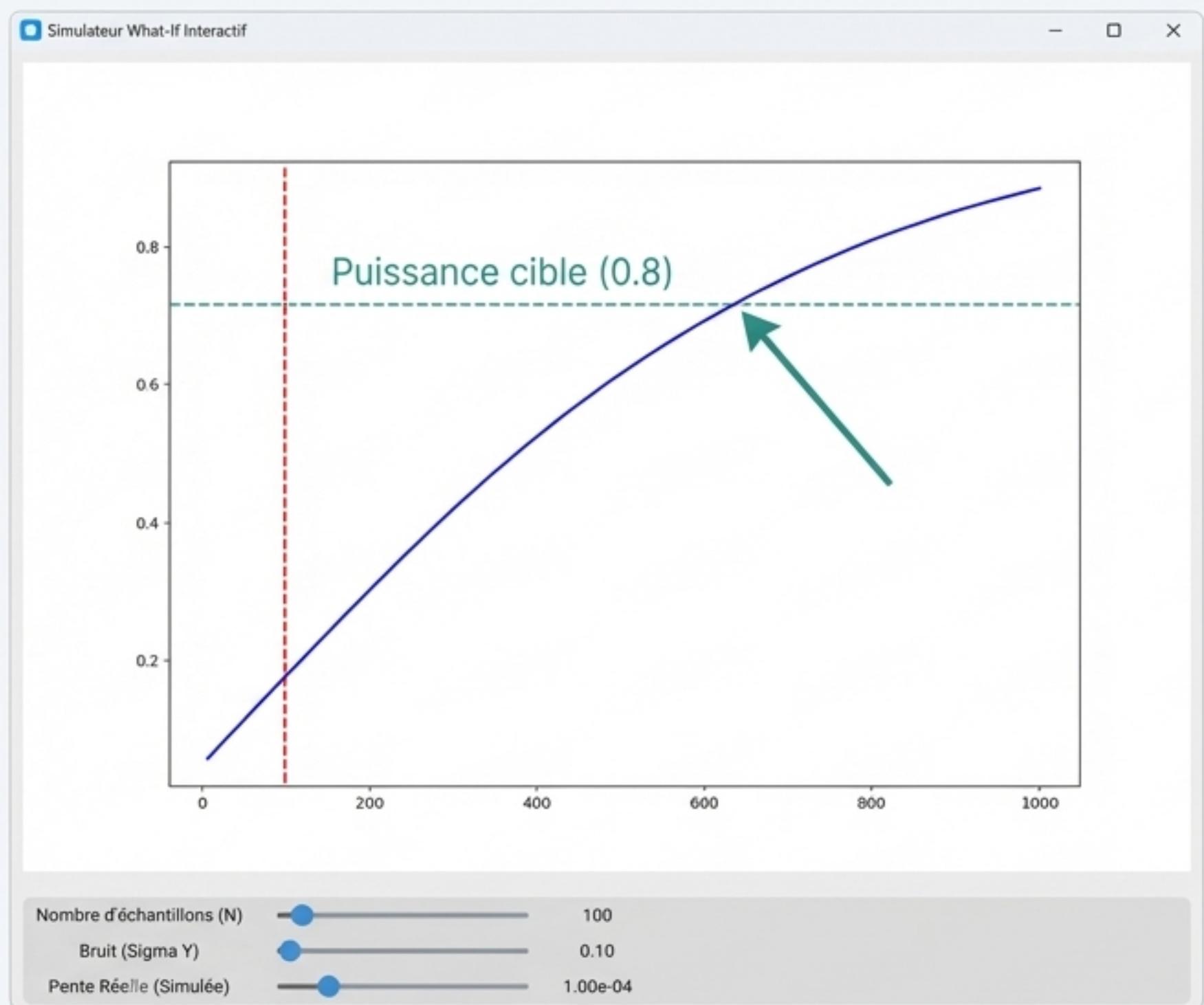
Cet outil permet de comprendre la structure interne des données en identifiant rapidement les relations linéaires entre les variables. C'est une étape essentielle pour éviter les problèmes de multicolinéarité et pour mieux interpréter les résultats du modèle principal.

## Analyse avancée:

On observe une corrélation quasi-nulle (valeurs de -0.09 à -0.10) entre la température et les autres variables, suggérant qu'elle n'a pas été un facteur de confusion majeur dans cette expérience.



# Outils Avancés : Le Simulateur 'What-If'



## Description du visuel :

Une interface interactive où l'utilisateur peut ajuster des curseurs pour le 'Nombre d'échantillons (N)', le 'Bruit (Sigma Y)' et la 'Pente Réelle (Simulée)' pour voir leur impact sur la puissance statistique du test (axe Y du graphique).

## Ce qu'il montre sur le fonctionnement :

Au-delà de l'analyse des données existantes, CHRONON fournit des outils pour la planification d'expériences futures. Il aide à répondre à la question : 'Combien de données me faut-il pour détecter un effet d'une certaine taille avec une confiance suffisante ?'

## Analyse avancée :

La courbe montre la relation non-linéaire entre la taille de l'échantillon et la puissance. Pour les paramètres actuels ( $N=100$ , indiqué par la ligne rouge), la puissance est faible (~0.2). Le simulateur démontre qu'il faudrait un  $N$  bien plus grand (environ 600) pour atteindre une puissance conventionnelle de 0.8, une information cruciale pour la conception de la prochaine expérience.

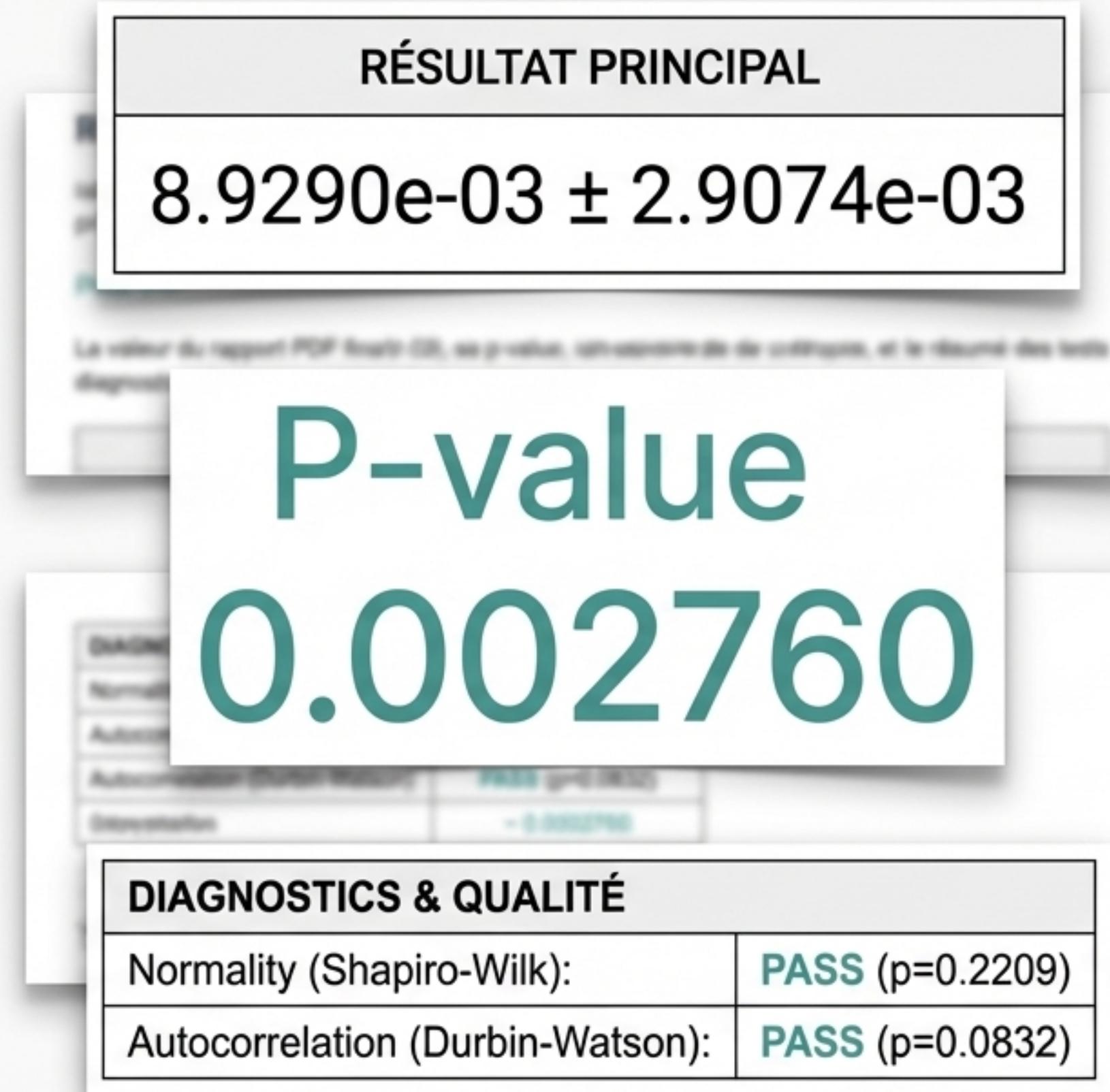
# Du Visuel au Rapport : La Synthèse Quantitative

## Description du visuel :

Extraits du rapport PDF final généré par le programme. Il compile les résultats numériques clés : la pente mesurée ( $\epsilon_{\phi} = 8.93e-03 \pm 2.91e-03$ ), sa p-value, l'intervalle de confiance, et le résumé des tests diagnostiques.

## Lien avec les visuels et le programme :

- Ce rapport est l'exportation quantitative de toutes les analyses visuelles précédentes.
- La valeur  $p = 0.00276$  confirme la significativité statistique de la pente détectée.
- Le tableau 'Diagnostics & Qualité' avec les résultats 'PASS' (Normality  $p=0.2209$ , Autocorr  $p=0.0832$ ) est la confirmation textuelle de ce que nous avons observé dans les graphiques de la diapositive 7.
- Le programme assure une traçabilité parfaite entre l'exploration visuelle et le document final.

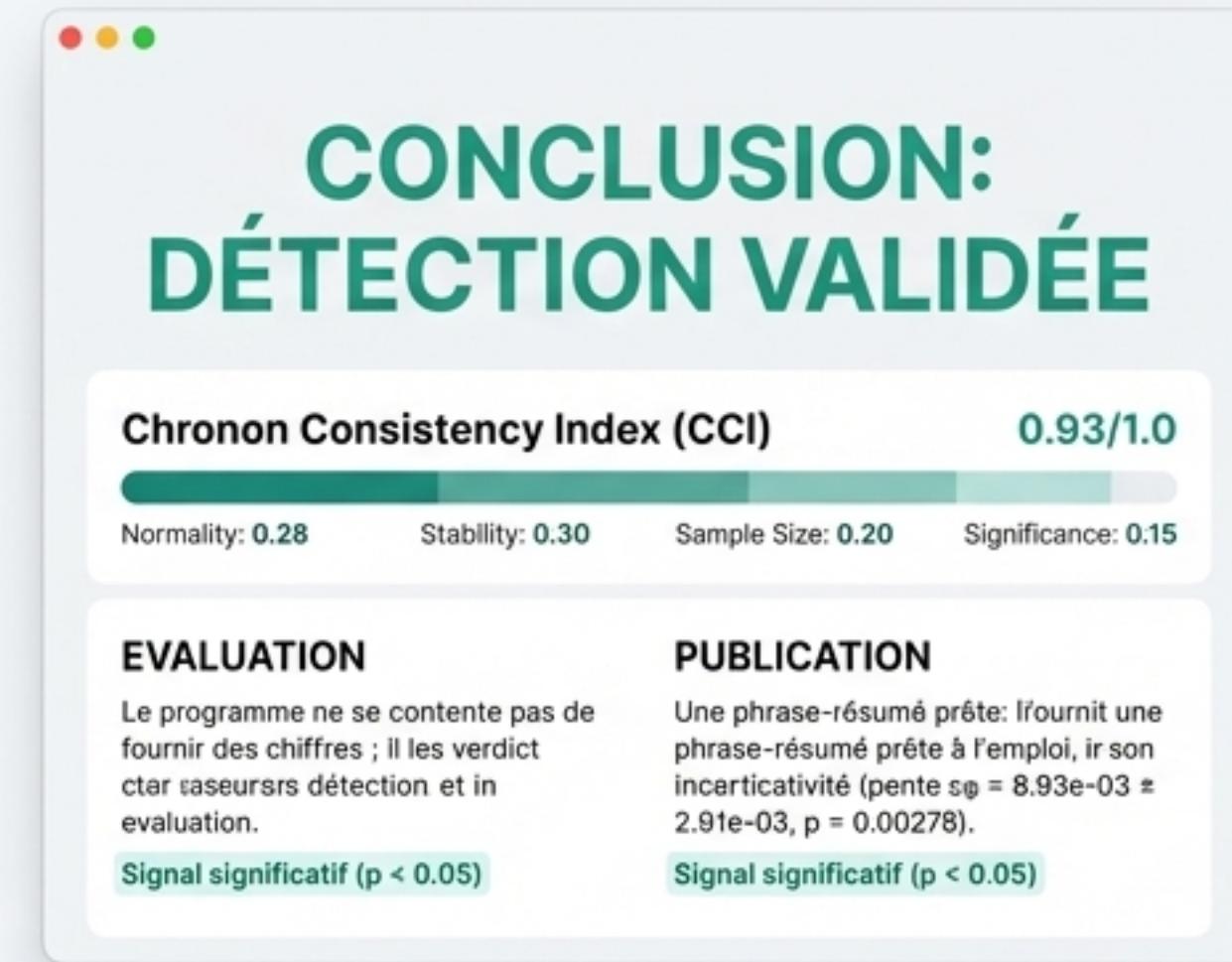


# Conclusion : Une Détection Validée et Quantifiée

## Description du visuel :

L'écran final de conclusion du programme, dominé par le verdict "CONCLUSION: DÉTECTION VALIDÉE". Il présente le "Chronon Consistency Index (CCI)", un score de confiance global, et des résumés pour l'évaluation et la publication.

**Ce qu'il montre sur le fonctionnement :** Le programme ne se contente pas de fournir des chiffres ; il les synthétise en un verdict clair et un score de qualité. Le CCI agrège les résultats des sous-analyses (Normalité, Stabilité, etc.) en une métrique unique et facile à interpréter.

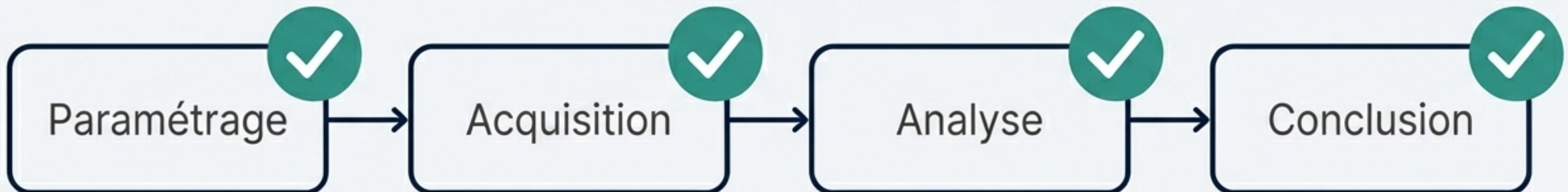


## Analyse avancée :

Le score CCI de **0.93/1.0** indique une très haute confiance dans le résultat.

La section 'EVALUATION' confirme un "Signal significatif ( $p < 0.05$ )". La section 'PUBLICATION' fournit une phrase-résumé prête à l'emploi, incluant la valeur mesurée, son incertitude et sa significativité ('pente  $\varepsilon_\Phi = 8.93e-03 \pm 2.91e-03$ ,  $p = 0.00276$ ').

# Résumé de la Démonstration : Un Processus Intégré et Rigoureux



Cette démonstration a illustré le fonctionnement complet du programme CHRONON, qui assure :

- **Un Flux de Travail Complet** : De la configuration initiale à la conclusion publiable, toutes les étapes sont gérées dans un environnement unique.
- **Une Rigueur Analytique** : Chaque résultat est soutenu par une série de diagnostics automatisés qui valident la qualité et la fiabilité du modèle.
- **Une Transparence Totale** : Des visualisations interactives et des rapports détaillés permettent une compréhension approfondie et une vérification complète du processus.
- **Des Conclusions Actionnables** : Le programme traduit des analyses statistiques complexes en verdicts clairs et en recommandations fondées sur des preuves.