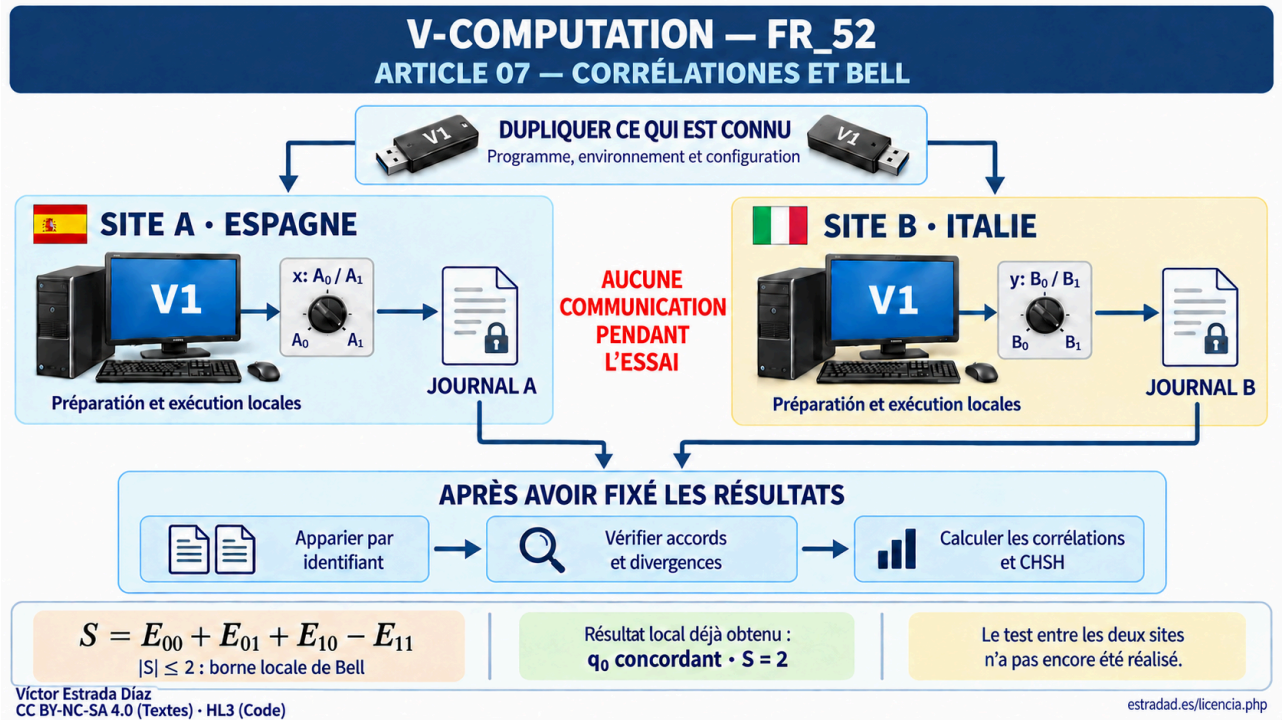
CONCEPTS DE V-COMPUTATION — FR_52

ARTICLE 07 — CORRÉLATIONS ET BELL



Auteur : Víctor Estrada Díaz ORCID : 0000-0001-9942-1021 Projet : ES_52 Série : Concepts de V-computation État : Brouillon à soumettre à l'auteur — non publié

Double licence — Éthique et utilisation

Textes : CC BY-NC-SA 4.0. Le partage et l'adaptation des textes sont autorisés avec attribution à l'auteur, sans utilisation commerciale et avec partage des adaptations sous la même licence. https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Code : HL3 — Hippocratic License 3.0. L'utilisation commerciale du code est autorisée uniquement si elle respecte les principes éthiques et les conditions de la licence. https://firstdonoharm.dev/version/3/0/

Restrictions éthiques de l'auteur : les utilisations à des fins de guerre, de violation des droits humains (DDHH), de dommages environnementaux, d'exploitation, de surveillance de masse et de discrimination sont interdites.

Principes éthiques de l'auteur : respect de la dignité humaine, aucune utilisation lucrative sans autorisation et interdiction des utilisations nuisibles.

Référence de la double licence et des conditions de l'auteur : https://estradad.es/licencia.php

1. OBJET

Une corrélation exprime une relation entre résultats. Cet article distingue une corrélation construite au moyen de relations connues des conditions spécifiques d'un test de Bell.

2. UNE RELATION SIMPLE

Si deux sorties binaires satisfont à :

$B = 1 - A$

leurs valeurs sont opposées. Ignorer A et B n'empêche pas de connaître cette relation.

À la fin de la lecture, les valeurs obtenues dans cette exécution sont connues. La relation permet de les interpréter, mais ne transforme pas à elle seule le dispositif en expérience de Bell.

3. CE QU'IL FAUT COMPARER

Pour comparer des corrélations, il faut identifier les entrées, les opérations et les paires de résultats appartenant à chaque exécution.

Dans le processus V de cette série, l'effondrement établit le résultat à t_0 et l'acquisition se termine à t_1. Chaque nouvelle exécution répète la préparation requise.

Aucune lecture de valeurs internes inconnues n'est ajoutée pendant la préparation pour expliquer les corrélations.

4. LA PORTÉE DE BELL

Les inégalités de Bell limitent les corrélations de certaines classes de modèles sous des hypothèses explicites, dont la localité et l'indépendance des choix de mesure vis-à-vis des variables partagées.

Les expériences quantiques ont montré des violations de ces inégalités. Il ne suffit pas de présenter deux résultats égaux ou opposés pour affirmer une violation.

Si une construction V partage des informations entre ses parties ou reçoit conjointement leurs réglages, cette caractéristique doit être décrite lors de la comparaison avec les conditions de Bell.

Un essai informatique local de sélecteurs a été réalisé avec deux processus Python de V1. Ses résultats et ses limites sont présentés dans la section 6. Il ne s'agit pas d'un test physique de Bell sans échappatoires.

5. CE QU'APPORTE V1

La vérification V1/Q1 pour Deutsch établit la concordance du bit de réponse pour les quatre fonctions binaires considérées.

Ce résultat est un exemple de comparaison opérationnelle. Il ne constitue pas en lui-même un test de Bell et ne démontre pas les corrélations d'une machine à plusieurs unités.

L'essai suivant utilise exclusivement la V1 installée, sans modifier sa construction. Les constructions ultérieures restent réservées.

6. ESSAI LOCAL DE V1 AVEC SÉLECTEURS

Deux branches reçoivent la même entrée connue de l'oracle. Chaque branche dispose de deux étiquettes de sélection, 0 et 1, qui identifient des copies interchangeables de V1, et non des opérations de mesure différentes.

Chaque essai prépare une nouvelle instance par branche. Chaque processus reçoit uniquement son sélecteur local et l'entrée commune. Le contrôleur recueille ensuite les deux résultats et calcule les corrélations à l'extérieur.

8.192 essais appariés ont été réalisés, équivalant à 16.384 exécutions de V1 : 4.096 essais avec sélection ordonnée et 4.096 autres avec sélection aléatoire externe.

Le bit q_0, qui répond au problème de Deutsch, a concordé entre les branches et avec $f_o(0)$ XOR $f_o(1)$ dans toutes les exécutions et pour les quatre oracles. Les sélecteurs ne génèrent ni états ni sorties internes de V.

Pour chaque paire de sélecteurs, on attribue le produit +1 si les sorties concordent et −1 si elles diffèrent. E_{00}, E_{01}, E_{10} et E_{11} sont les moyennes de ces produits dans chaque groupe.

La convention utilisée est :

$$S = E_{00} + E_{01} + E_{10} - E_{11}$$

Pour q_0, les deux modes de sélection ont donné :

$$E_{00} = E_{01} = E_{10} = E_{11} = 1$$

$$S = 2$$

On a donc observé une concordance complète dans la réponse de Deutsch, mais pas de violation de la limite locale de Bell, $|S| \leq 2$.

Les deux V1 sur un même ordinateur ont réussi les vérifications locales réalisées : concordance de la réponse de Deutsch et respect de l'inégalité de Bell. Aucune violation de cette inégalité n'a été trouvée dans les données de l'essai ; q_0 a donné $S = 2$. Réussir ces vérifications signifie satisfaire à ces critères, et non dépasser la limite de Bell ni certifier un test physique sans échappatoires.

q_1 a également été analysé, sans sélectionner a posteriori le bit le plus favorable. Il a donné $S = 1{,}998046875$ avec sélection ordonnée et $S = 2$ avec sélection aléatoire.

L'essai a été exécuté sur un seul ordinateur avec deux processus Python. Ni Prolog ni un montage entre l'Espagne et l'Italie n'ont été exécutés, et l'isolement physique, l'indépendance des références temporelles et l'absence de canaux latéraux n'ont pas été certifiés. Le contrôleur connaît les deux réglages. La sélection ordonnée constitue un contrôle, pas une preuve d'indépendance des réglages.

Dans cet essai, les sélecteurs sont générés avant la préparation des nouvelles instances ; aucun choix physique postérieur à une préparation partagée n'est certifié. Les enregistrements contiennent t_0 et des durées logicielles, pas une mesure indépendante de t_1. Il n'y a pas non plus de comparaison temporelle avec du matériel Q.

La vérification externe supplémentaire des 16 affectations binaires locales possibles a donné un maximum $|S| = 2$ et un maximum de 75 % de réussites CHSH avec des réglages uniformes. Elle ne fait pas partie du fonctionnement interne de V.

Le résultat correspond au montage exécuté. Il ne décide pas du comportement de toutes les constructions V. Pour étudier des alternatives de mesure différentes, il faut définir les opérations locales, la préparation partagée et les conditions d'accès à l'information.

Rapport spécifique avec formules, tableaux et liens relatifs, version PDF : ./pdfs/FR_52_EnsayoBellV1.pdf

Résumé des résultats : ./datos/ES_52_EnsayoBellV1/resultados.json

Enregistrements complets : ./datos/ES_52_EnsayoBellV1/registros.jsonl

7. EXTENSION PROPOSÉE À L'ESPAGNE–ITALIE

La vérification peut être étendue à un site en Espagne et un autre en Italie, en déplaçant un ordinateur ou en y installant une copie vérifiable de V1. On emporte le code, son environnement et la préparation connue ; pas une exécution en cours ni des résultats internes inconnus déjà fixés.

Dans la variante USB proposée par l'auteur, le programme, l'environnement et la configuration connue sont dupliqués avant le démarrage. Chaque site démarre ensuite son environnement et prépare sa propre exécution dans la fenêtre convenue. Aucune exécution préparée en RAM n'est

copiée. Les branches partagent ce qui est connu, ne communiquent pas pendant la préparation ou l'exécution et réalisent uniquement les essais convenus sans connexions entre elles. Les enregistrements sont comparés à la fin.

Avant de commencer, les deux sites conviennent des identifiants, des oracles, du nombre d'essais et du traitement des incidents. Chaque site prépare une nouvelle instance par essai et ne reçoit que son sélecteur local. Dans le bloc aléatoire proposé, ce sélecteur est obtenu à l'extérieur après la préparation et avant le déclenchement. Les résultats sont fixés et sauvegardés sans consulter la sélection ou la sortie distante.

Les deux bits, l'oracle, le sélecteur, le déclenchement, la fin de l'acquisition et les incidents sont enregistrés. Une fois les enregistrements clos, les fichiers sont échangés et leurs empreintes vérifiées. L'analyseur apparie par identifiant, vérifie les absences et les doublons, contrôle la réponse de Deutsch et calcule les quatre corrélations et CHSH. Il ne sélectionne pas de paires favorables et ne masque pas les échecs.

Le programme local livré n'implémente pas encore de branches autonomes entre sites ni tous ces enregistrements temporels. Des contrôleurs locaux par branche et un comparateur ultérieur sont nécessaires. Exécuter deux fois le programme actuel, une fois dans chaque pays, ne revient pas à réaliser l'essai distribué.

Si les copies équivalentes continuent à concorder sur q_0, le résultat attendu est à nouveau $S = 2$. Cela vérifierait une concordance délocalisée, pas une violation de Bell.

Pour un test physique de Bell, il faut également justifier l'indépendance des réglages et l'impossibilité de communication pendant l'essai au moyen de positions, de temps et d'incertitudes enregistrés. La distance ou le langage ne les garantissent pas à eux seuls. Ce sont des conditions de la vérification externe, pas des parties ajoutées à la construction de V.

La référence Q avec des supraconducteurs a utilisé 30 mètres en 2023. Il existe des expériences photoniques à 1.203 km, publiées en 2017 ; elles ne sont pas confondues ici avec deux ordinateurs Q généraux ni avec des conditions identiques de fermeture des échappatoires.

Le protocole détaillé de préparation, de démarrage, d'enregistrements et de comparaison figure dans la section 9 du rapport : ./pdfs/FR_52_EnsayoBellV1.pdf

Cette extension est proposée et non exécutée. Les résultats établis restent ceux de l'essai local.

Chaque site obtiendra et conservera son propre ensemble d'enregistrements. Une fois les essais convenus réalisés, les deux ensembles seront confrontés pour évaluer les corrélations et le respect des conditions du test. Le résultat du test délocalisé sera alors déterminé, sans le déclarer réussi ou échoué à l'avance.

8. CONCLUSION

Relier des valeurs inconnues et vérifier des corrélations sont des étapes distinctes de la démonstration d'une violation de Bell.

L'essai local de V1 conserve la réponse de Deutsch entre copies sélectionnées et donne S = 2. Cette concordance n'est pas une violation de Bell. L'évaluation d'un autre montage exige de décrire et de vérifier ses propres conditions.

9. SOURCES

./pdfs/FR_52_EnsayoBellV1.pdf ./datos/ES_52_EnsayoBellV1/resultado_asentado_v1.json Protocole CHSH : https://quantum.cloud.ibm.com/learning/en/courses/basics-of-quantum-information/entanglement-in-action/chsh-game Fondement scientifique du prix Nobel de physique 2022 : https://www.nobelprize.org/uploads/2026/05/advanced-physicsprize-2022-5.pdf Expérience Q avec des supraconducteurs, 30 mètres : https://www.nature.com/articles/s41586-023-05885-0 Expérience photonique avec des stations séparées de 1.203 km : https://arxiv.org/abs/1707.01339

RELATION AVEC LA SÉRIE

Précédent : ./pdfs/FR_52_06_ConceptosVcomputacion.pdf

Cette étape de l'exposé se termine à l'article 07. Les constructions suivantes seront présentées lors d'une étape ultérieure.

Les concepts sont publiés depuis v-computacion, projet distinct de UNIHOLOG. Le projet de base ES_52 reste dans UNIHOLOG. DEMUESTRA travaillera sur la version espagnole de ce projet de base ; sa vérification documentaire se limite aux fichiers .md en espagnol.

PROTOCOLE LA BELL SUR DEUX SITES AVEC LA MÊME MACHINE V1

1. DÉFINIR LA CAMPAGNE

Les sites A, en Espagne, et B, en Italie, sont désignés. Avant l'exécution, on convient de l'identifiant de campagne, du nombre d'essais, des oracles connus, des identifiants de chaque essai et du traitement des erreurs et des absences. Il est décidé d'analyser q_0 comme réponse de Deutsch et q_1 séparément comme sortie supplémentaire.

2. DUPLIQUER CE QUI EST CONNU

Le programme V1, ses modules, l'environnement et la configuration connue sont copiés sur deux clés USB avant le démarrage. Les versions et les empreintes SHA-256 sont consignées. Aucune exécution préparée en RAM n'est dupliquée et aucun résultat futur n'est introduit. Une copie reste sur chaque site.

3. VÉRIFIER L'INSTALLATION

Chaque site démarre son ordinateur et vérifie localement les quatre cas connus de Deutsch. Ces exécutions d'installation restent séparées de la campagne qui sera analysée. Chaque nouvelle exécution exige sa propre préparation.

4. CONVENIR DU DÉMARRAGE ET ISOLER LES BRANCHES

Une fenêtre de démarrage et un plan public d'identification des essais sont fixés à l'avance. Les consultations de l'autre site sont supprimées du programme d'essais et les canaux d'échange sont bloqués pendant la préparation et l'exécution. Aucune réponse distante n'est utilisée comme condition de production de la sortie locale.

Une heure convenue ne démontre pas une simultanéité physique exacte. Si l'on entend certifier un isolement spatio-temporel de Bell, il faut enregistrer les positions, les choix, les résultats et les incertitudes d'horloge, selon le rapport spécifique. Un montage sans ces contrôles est présenté comme une vérification informatique délocalisée.

5. PRÉPARER LOCALEMENT CHAQUE ESSAI

Pour le même identifiant, les deux sites reçoivent l'oracle connu correspondant et préparent localement une nouvelle V1. La méconnaissance et l'indépendance requises par la définition de V sont maintenues. La préparation ne fournit pas les valeurs internes qui doivent rester inconnues.

6. EFFECTUER LA SÉLECTION LOCALE

Dans chaque branche, il existe deux étiquettes de sélection : A_0 ou A_1 en Espagne et B_0 ou B_1 en Italie. Dans cette répétition, elles représentent des copies équivalentes de la même V1, et non des opérations de mesure différentes.

Un bloc ordonné de contrôle peut être réalisé d'abord. Dans le bloc aléatoire, chaque sélecteur externe local obtient son bit après la préparation et avant le déclenchement, sans consulter le sélecteur distant. Aucune graine ni liste commune prédéterminant les choix futurs du bloc aléatoire n'est distribuée. La manière dont l'indépendance des réglages vis-à-vis des variables internes pertinentes est assurée est documentée.

7. DÉCLENCHER L'EFFONDREMENT ET ACQUÉRIR LE RÉSULTAT

Chaque site déclenche l'effondrement de sa V1 et enregistre t0. Le résultat de cette exécution est établi. La lecture acquiert ce résultat et enregistre sa fin, t1. Il n'est pas nécessaire qu'une personne observe pendant le processus : le contrôleur local enregistre automatiquement les données.

L'autre ordinateur n'est pas consulté pendant ce processus. Une préparation consommée n'est pas répétée pour remplacer un résultat défavorable. Si l'essai échoue, l'incident est conservé avec son identifiant.

8. CONSERVER LES ENREGISTREMENTS LOCAUX

Chaque site sauvegarde, pour chaque essai : identifiant de campagne et d'essai ; oracle connu ; sélecteur local ; q0 et q1 ; état de l'acquisition ; instant du choix ; t0 ; t1 ; version et empreinte du code ; et incidents. Les horloges locales sont distinguées d'une référence temporelle commune et leur incertitude est consignée le cas échéant.

Les valeurs internes nécessaires à la vérification externe de cohérence sont examinées uniquement après l'effondrement et la mesure, selon la procédure de l'article 05. Leur indépendance n'est pas considérée comme certifiée du seul fait de l'exécution de copies dans des pays différents.

9. CLORE LES FICHIERS ET LES RASSEMBLER

Une fois les résultats du bloc fixés, chaque fichier est clos et son empreinte est calculée. Les fichiers peuvent ensuite être envoyés par réseau ou transférés sur clé USB à l'analyseur externe. Ce transfert ultérieur ne participe pas à l'obtention des sorties.

Les empreintes sont vérifiées et les enregistrements sont appariés par campagne et identifiant. Les doublons, les absences, les entrées différentes et les erreurs sont détectés. On ne recherche pas a posteriori de paires qui augmenteraient la concordance et on ne masque pas les essais échoués.

10. VÉRIFIER LA RÉPONSE DE V1

On vérifie séparément, sur chaque site, que q_0 satisfait à :

$q_0 = f_o(0)$ XOR $f_o(1)$

Les divergences entre sites sont comptées pour chaque oracle. Cette première vérification évalue la concordance fonctionnelle et est rapportée séparément de CHSH.

11. CALCULER LES CORRÉLATIONS DE BELL

Pour q_0 puis pour q_1, les enregistrements sont regroupés par paire de sélecteurs : 00, 01, 10 et 11. Dans chaque groupe, les sorties égales et différentes sont comptées :

$E_{x\gamma}$ = (nombre de sorties égales – nombre de sorties différentes) / $N_{x\gamma}$

Chaque groupe est normalisé par son propre nombre d'enregistrements. Si une paire de réglages manque, CHSH ne peut pas être estimé à partir de ces données. On calcule :

$S = E_{00} + E_{01} + E_{10} - E_{11}$

Le nombre d'essais par groupe, les incidents, les quatre corrélations et S sont rapportés pour chaque bit. On ne choisit pas ensuite uniquement le bit le plus favorable.

12. ÉVALUER LA NON-VIOLATION OBSERVÉE

Le résultat est confronté à la limite locale de Bell :

$|S| \leq 2$

Si les sorties concordent toujours dans les quatre groupes, les quatre corrélations valent 1 et S = 2. On rapporte qu'aucune violation n'a été observée dans cet échantillon. Cette observation finie n'est pas transformée en démonstration d'absence de violation pour tout montage ou toute exécution future.

L'incertitude statistique et les conditions effectivement satisfaites sont également évaluées. Une valeur estimée supérieure à 2 exige une analyse statistique et un audit avant de l'attribuer à une violation. Une valeur estimée inférieure ou égale à 2 est décrite comme une non-violation observée, pas comme une preuve universelle de localité.

En cas de pertes ou d'échecs, on n'attribue pas aux corrélations des seuls cas réussis la portée d'un test sans échappatoires. Le traitement convenu est appliqué et, si nécessaire, cette interprétation de Bell est déclarée non concluante.

13. ÉTABLIR LE RÉSULTAT DE LA CAMPAGNE

Le rapport final conserve les deux fichiers originaux, leurs empreintes, le plan préalable, les versions, la procédure de sélection, les décomptes et l'analyse. Il distingue expressément la concordance de V1, la valeur CHSH observée et les conditions d'isolement et d'indépendance vérifiées.

Dans l'essai déjà réalisé sur un seul ordinateur, il y a eu concordance complète pour q_0 et $S = 2$. Pour l'Espagne–Italie, aucun résultat n'est anticipé : il sera déterminé lors de l'exécution et de la confrontation des enregistrements des deux sites.

Le contrôleur distribué, le choix après la préparation et l'enregistrement séparé de t_1 restent à implémenter. Le programme livré exécute deux branches sur un ordinateur ; il ne doit pas être présenté comme un exécuteur distribué déjà disponible.

Les articles en PDF et leurs fichiers de référence sont disponibles sur le site de l'auteur : https://estradad.es Consultez principalement les projets V-COMPUTACION, UNIHOLOG et DEMUESTRA.

Accès web direct au protocole développé et à ses formules, version PDF : https://estradad.es/teorias/pdf/V-COMPUTACION/pdfs/FR_52_EnsayoBellV1.pdf

Lien relatif vers le même PDF dans le projet : ./pdfs/FR_52_EnsayoBellV1.pdf

FIN DE L'ARTICLE 07