Confluent v2

Cyclonium · 26 octobre 2026 · Étape B : collisions et milieu.

Un instrument de lois locales

La version 2 conserve les quatre matières et les mutations de Confluent v1. Elle ajoute des changements de vitesse : collisions élastiques frontales, dissipation vers le repos et agitation depuis le repos. Les trois lois conservent les identités de matière, le nombre de particules et la quantité de mouvement. Elles n’utilisent ni positions individuelles, ni normales de contact reconstruites.

Trois expériences pour commencer

1. Choisir « Expérience : choc frontal », puis Lancer. Deux courants de Sol se rencontrent et peuvent donner des courants transversaux. Les mutations sont coupées dans cette expérience. Le bouton remplace la scène et enregistre son départ.

2. Appuyer sur « Refroidir » pour ajouter une dissipation à la scène courante. Les paires opposées admissibles deviennent immobiles. Les particules restent visibles dans Matières, même lorsque leur énergie devient nulle. Les populations sans partenaire opposé peuvent continuer à circuler.

3. Appuyer sur « Agiter ». Des paires au repos peuvent repartir avec des vitesses opposées. On peut aussi Effacer, cliquer pour déposer un paquet au repos, puis Lancer. Une particule isolée ne suffit pas. Les paires de matières et les directions sont examinées selon un calendrier : une réaction peut attendre plusieurs pas.

Conserver la liberté du geste

Le pinceau dépose la matière choisie, avec une vitesse issue du geste, même en pause. Les réglages fins restent relatifs : déplacement horizontal pour régler, éloignement vertical pour affiner. « Sans milieu » met les trois nouveaux taux à zéro, sans couper les mutations. Les présélections de milieu ne remplacent ni la scène ni le départ enregistré.

Matières, Énergies et Vitesses restent trois lectures du même état. Le filtre de matière concerne Matières et Vitesses ; Énergies montre le total. Le panneau est indépendant de la toile et peut être replié. Sur téléphone, il défile dans son propre espace, sous la scène ou à côté en paysage.

Le catalogue mécanique

Notation et grandeurs conservées

On pose $q = (D - 1)/2$. Une classe porte la vitesse $v = (i/q, j/q)$, avec $-q \le i, j \le q$. Toutes les particules ont une masse égale à 1. Les sommes suivantes portent sur les zones, classes et matières.

$$N = \Sigma\, n \; ; \; Q = \Sigma\, n(i, j) \; ; \; P = Q/q$$

$$S = \Sigma\, n(i^2 + j^2) \; ; \; E = S/(2q^2)$$

Élastique : une rotation de la paire

$$(v, A) + (-v, B) \to (Rv, A) + (-Rv, B)$$

$R(i, j) = (-j, i)$ est une rotation de 90°. La somme des deux vitesses reste nulle et leur norme reste identique : $\Delta N = 0$, $\Delta P = 0$, $\Delta E = 0$. La grille carrée contient toujours les sorties. La loi s'applique aussi à deux particules d'une même matière.

Tous les quadruplets $\{v, Rv, -v, -Rv\}$, sauf le repos, peuvent être traités en parallèle. Leur représentant unique vérifie $i > 0$ et $j \ge 0$. L'orientation choisit le couple entrant dans ce quadruplet. Un seul sens de réaction est actif par quadruplet et par passe ; il n'existe donc aucune double consommation.

Dissipation : captation d'une paire opposée

$$(v, A) + (-v, B) \to (0, A) + (0, B)$$

Pour C paires converties, $\Delta E = -C|v|^2$, tandis que N et P restent constants. Ce canal retire toute l'énergie de la paire sélectionnée. Le curseur règle la fraction de paires qui réagissent, pas un coefficient continu de restitution pour chaque choc.

Agitation : émission d'une paire opposée

$$(0, A) + (0, B) \to (v, A) + (-v, B)$$

Pour C paires émises, $\Delta E = +C|v|^2$. Si $A = B$, le budget est $\mathrm{floor}(n_0/2)$ et une particule impaire peut rester au repos. Les directions injectées sont (1,0), (0,1), (1,1), (1,−1), divisées par q. Il s'agit d'une source d'agitation, pas d'un thermostat à température imposée.

Quotas, calendrier et limites

Trois distributions d’événements

Le budget K est le minimum des populations participantes ; pour une émission à partir du même bin de repos, il est divisé par deux. Le taux entier T varie de 0 à 1024 ; p = T/1024. La même quantité C est retirée aux deux entrées et ajoutée aux deux sorties.

Quota déterministe : C = floor(Kp)

Ce mode ne comporte aucun tirage, mais peut figer les petits budgets lorsque Kp < 1. Aucun reste n’est mémorisé entre les pas dans cette version. Ce choix simple est affiché explicitement dans l’interface.

Quota arrondi : C = floor(Kp) + Bernoulli(frac(Kp))

C’est le mode par défaut du milieu. Son espérance est Kp et sa variance ne dépasse pas 1/4. Les mutations continuent d’utiliser leur propre arrondi aléatoire historique, quel que soit le mode du milieu.

Tirage collectif : C = K × Bernoulli(p)

Tout le budget réagit ou rien ne réagit. Espérance Kp, variance $K^2p(1-p)$. Ce mode peut créer de grandes pulsations collectives. Il ne prétend pas réaliser K essais indépendants : leur loi binomiale aurait pour variance Kp(1−p). À taux 0 aucun événement, à taux 1024 tout le budget, dans les trois modes.

Un calendrier qui fait partie du modèle

Chaque pas sélectionne une des dix paires non ordonnées de matières : S/S, S/H, S/B, S/F, H/H, H/B, H/F, B/B, B/F, F/F. Après dix pas, l’orientation élastique avance d’un quart de tour. Pour la dissipation, un seul représentant v/−v est proposé à la fois, parcourant les $(D^2-1)/2$ possibilités. Pour l’agitation, les quatre directions indiquées alternent. Les matières conservent leur rôle A/B dans ce calendrier.

L’ordre effectif est : transport, élastique, dissipation, agitation, mutation. Une passe lit un état immuable et écrit dans l’autre atlas ; la passe suivante peut utiliser ses produits. L’agitation peut donc remettre en mouvement des particules dissipées au même pas. Ce choix est volontaire et sauvegardé par la version de loi.

Ce que ce catalogue ne représente pas

Les rencontres non frontales ne sont pas encore diffusées. Le catalogue n’est pas isotrope, ni invariant sous changement de référentiel. Les normes individuelles ne changent pas pendant la seule loi élastique. Un changement de classe adopte la phase globale de sa destination, sans position sous-cellulaire conservée. Les rythmes de réaction dépendent de D et du calendrier ; on ne les appelle donc ni viscosité, ni fluidité physique. Les champs et le son restent l’étape C.

Observer et vérifier les échanges

Un relevé énergétique daté

N et Q sont conservés entre les dépôts, y compris par la dissipation et l'agitation choisies. E, en revanche, doit être mesurée. Le GPU calcule par zone le numérateur S sur deux mots de 32 bits ; le CPU additionne cette petite carte au plus deux fois par seconde pendant la lecture, et immédiatement lors du rendu en pause. Le numéro du pas mesuré est affiché sous la toile.

Ce relevé peut rester momentanément en retard sur l'animation ; son libellé le rend explicite. Une synchronisation GPU/CPU est requise pour la lecture et peut se sentir sur les grandes grilles. Le rendu des couleurs n'est jamais utilisé pour compter l'énergie.

Mesurer un pas

Cette commande met en pause, termine les dépôts en attente puis avance d'un pas. Elle relit les distributions après chaque phase et présente cinq ΔE séparés. Elle vérifie N et Q à chaque transition, l'égalité énergétique du transport, des collisions et des mutations, la décroissance pour la dissipation et la croissance pour l'agitation.

Il s'agit du bilan d'un pas explicitement observé, pas d'un registre cumulé de tous les échanges antérieurs. Le texte reste daté et n'est pas réactualisé silencieusement par la lecture. Une valeur nulle peut être normale : pas de partenaire, quota nul, canal différent ou tirage collectif refusé. Ce diagnostic coûte davantage qu'un pas ordinaire.

Audit global

« Vérifier les invariants » compare N et Q au suivi des dépôts et vérifie toutes les énergies locales par recalcul sur l'atlas. Dans une séquence sans dissipation ni agitation depuis la dernière référence, il vérifie aussi la conservation de E. Une fois l'énergie ouverte au milieu, il n'impose pas une conservation qui serait fausse.

Bornes et coût

Le total global, toutes matières confondues, ne dépasse pas $2^{32}-1$. La borne garantit aussi celle de chaque compteur. Le quota calcule Kp par quotient et reste avant multiplication pour ne pas déborder. Les signes de ΔE sont vérifiés sur des différences exactes en Number : avec $D \le 31$, $S \le 450(2^{32}-1)$, très inférieur à 2^{53}.

Les cinq textures principales sont inchangées : deux atlas RGBA32UI, deux cartes RG32UI et une carte RGBA32UI, soit $32L^2D^2 + 32L^2$ octets, plafonnés à 128 Mio. Une loi mécanique de taux nul ne lance aucune passe ; sinon elle ajoute une passe d'atlas. Le coût dépend des cases, classes et passes, pas du nombre de particules représentées.

Sources, fichiers et validation

Reprise et compatibilité

Le projet JSON porte format cyclonium-confluent, version 2 et loi milieu-canaux-v2. Les états initial et courant contiennent chacun grille, phase, pas, distributions, mutations, graine et bloc milieu (elastique, dissipation, agitation, mode). La graine et le pas déterminent la suite des tirages ; aucun état aléatoire caché n’est nécessaire.

Les fichiers Confluent v1 et Flux entiers v1 restent acceptés. Leurs nouvelles lois mécaniques sont toutes désactivées lors de la migration. Un projet v2 incomplet ou hors bornes est refusé avant remplacement du moteur. L’import et le retour au départ se font en pause. Les préférences d’affichage, de pinceau et de cadence ne sont pas des paramètres du modèle et restent celles de l’interface.

La distribution reste uint32 little-endian/base64 en canaux S, H, B, F. Les anciennes pages Confluent v1 ne comprennent pas le nouveau format. Les cartes et distributions sont disponibles via window.confluent pour de futurs adaptateurs ; cela ne constitue pas déjà un importeur dans tous les autres ateliers de Cyclonium.

Livraison et lisibilité

confluent.2.html est la page autonome sans dépendances distantes. confluent.2-sources.zip contient les fichiers séparés, les tests et les notices Markdown/PDF. Les sources propres au projet restent en français. Le nouveau shader mecanique et la méthode appliquerMilieu explicitent les budgets, les participants, le calendrier et les affectations complètes des sorties WebGL.

PNG et vidéo exportent la toile sans les contrôles ; la vidéo reste muette et dépend des formats du navigateur. Conserver un JSON à côté pour disposer des métadonnées de construction et de l’état exact. La page hébergée annonce v2.0.0 ; les scripts portent cette version dans leur URL pour éviter le cache de v1.

Vérifications effectuées

Les shaders réels ont été compilés et exécutés avec EGL/OpenGL ES 3.2 Mesa. 270 configurations mécaniques sur D=3,5,7, les dix paires de matières et trois modes de quota concordent compteur par compteur avec une référence CPU indépendante. Les tests contrôlent N, Q, les populations de chaque matière et le signe de ΔE. Ils couvrent aussi les taux nuls et la limite uint32 impaire, avec agitation/dissipation inverses.

Les tests historiques de transport et mutations restent présents. Une vérification statistique distingue le tirage collectif de la binomiale. L’interface simulée teste les paramètres v2, les états initial/courant, le diagnostic, la migration v1 et le rejet des fichiers mal formés sans modification de la scène.

La prévisualisation navigateur est indisponible dans cet environnement. Ces tests ne valident donc ni le débit réel sur téléphone, ni le rendu tactile, ni la capture vidéo de chaque navigateur. L’étape B est un catalogue expérimental documenté, et non un modèle de fluide newtonien validé.