CPE5

Pipeline graphique 2 - lancer de rayon

J.C. Iehl

October 24, 2017

résumé des épisodes précédents

pipeline graphique :

- décrire l'objet en fonction de la méthode d'affichage,
- pipeline fragmentation / rasterization.

afficher des objets

plusieurs problèmes :

- problème 1 : déterminer où se trouve l'objet (par rapport à la camera),
- problème 2 : déterminer l'ensemble de pixels (correspondant à la forme de l'objet),
- problème 3 : donner une couleur à chaque pixel.

afficher des objets

2 organisations :

- pour chaque objet : déterminer l'ensemble de pixels,
  (que se passe-t-il lorsque plusieurs objets se "dessinent" sur le même pixel ?)
- pour chaque pixel : trouver l'objet visible,

trouver l'objet visible pour chaque pixel : trouver l'objet le plus *proche* de la camera.

afficher des objets

2 cours :

- la dernière fois : fragmentation, solution 1,
- aujourd'hui : lancer de rayons, solution 2.

lancer de rayons

pour chaque pixel :

- générer un rayon,
- pour chaque objet :
- calculer l'intersection,
- garder l'objet le plus proche de la camera...

calculer la couleur du pixel en fonction de l'objet trouvé...

générer un rayon

rayon :

- droite passant par le centre d'un pixel de l'image
- ...

trouver 2 points ? ou 1 point et une direction ?

générer un rayon

2 points :

- le rayon passe par la camera (son centre de projection),
- et par un point au centre du pixel...

position de la camera dans le repère du monde ?
position d'un pixel dans le repère du monde ?

générer un rayon

transformations :

- model, view, projection, image...
- ou se trouve la camera dans le repère du monde ?
- ou se trouve le pixel x, y dans le repère du monde ?

générer un rayon

origine :

- la camera se trouve en $[0, 0, 0]$ dans le repère... camera !
- transformation dans le repère du monde...

$$o(x, y) = V^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

générer un rayon 1 / projection

extrémité :

- pixel x, y, dans le repère image... et z ?
- dans le repère camera :
- $\left[2\frac{x}{largeur} - 1, 2\frac{y}{hauteur} - 1, z \equiv 1\right]$
- transformation dans le repère du monde...

$$e(x, y, 1) = V^{-1} \begin{bmatrix} 2\frac{x}{largeur} - 1 \\ 2\frac{y}{hauteur} - 1 \\ z \equiv 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

générer un rayon 2 / projection homogène openGL

extrémité :

- pixel x, y, dans le repère image...
- et le z ?
- $\{x, y, z \equiv 0\}$ sur le plan proche,
- $\{x, y, z \equiv 1\}$ sur le plan loin,
- transformation dans le repère du monde...

$$e(x,y,z) = [I \times P \times V]^{-1} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \equiv 0,1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

générer un rayon

plusieurs solutions :

- on connait 2 ou 3 points sur le rayon...
- $o(x, y)$ et $e(x, y, 1)$,
- ou $e(x, y, 0)$ et $e(x, y, 1)$
  (permet de reproduire exactement la projection d'openGL)

intersections

cas simples :

- plan,
- sphere,
- triangle,
- cube.

utiliser une représentation de l'objet et du rayon permettant de faire le calcul...

intersections : rayon / plan

rappels :

- $p(t) = o + t \cdot \vec{d}$,
- $\vec{n} \cdot \overrightarrow{ap} = 0$ sur le plan de normale $\vec{n}$ passant par a et $p \in plan(a, \vec{n})$.

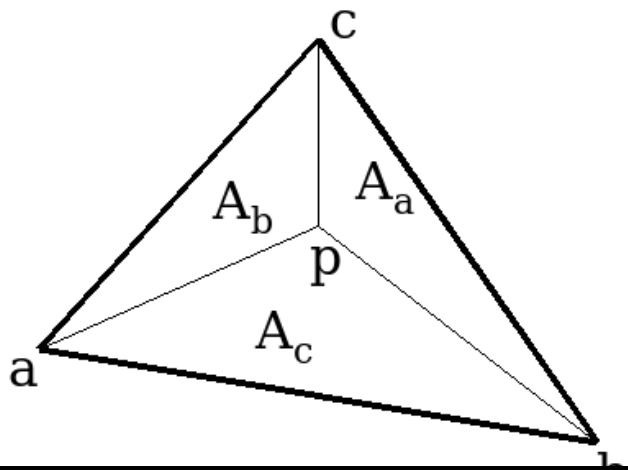
résultat :

- $\vec{n} \cdot \overrightarrow{ap(t)} = 0$
- $\vec{n} \cdot ((o + t \cdot \vec{d}) - a) = 0$
- $\vec{n} \cdot ((o - a) + t \cdot \vec{d})) = 0$
- $t = \frac{(a-o) \cdot \vec{n}}{\vec{d} \cdot \vec{n}}$

intersections : rayon / triangle

rappels :

- $p(t) = o + t \cdot \vec{d}$,
- $p(\alpha, \beta) = \alpha a + \beta b + (1 - \alpha - \beta)c$ si $p \in triangle(a, b, c)$
- $\alpha = A_a/A$, $\beta = A_b/A$
- $\gamma = 1 - \alpha - \beta = A_c/A$



intersections : rayon / triangle

résultats :

- solution directe :
  "Fast, Minimum Storage Ray-Triangle Intersection"
  T. Moller, B. Trumbore, 1997
- solution numérique robuste :
  "Watertight Ray/Triangle Intersection"
  S. Woop, C. Benthin, I. Wald, 2013

intersections : rayon / sphere

rappels :

- $p(t) = o + t \cdot \vec{d}$,
- $(p_x - c_x)^2 + (p_y - c_y)^2 + (p_z - c_z)^2 - R^2 = 0$ si $p \in sphere(c, R)$
- $(p - c) \cdot (p - c) - R^2 = 0$

résultat :

- $(o + t \cdot \vec{d} - c) \cdot (o + t \cdot \vec{d} - c) - R^2 = 0$
- $(\vec{d} \cdot \vec{d})t^2 + 2\vec{d} \cdot (o - c)t + (o - c) \cdot (o - c) - R^2 = 0$

intersections : rayon / boite orientée

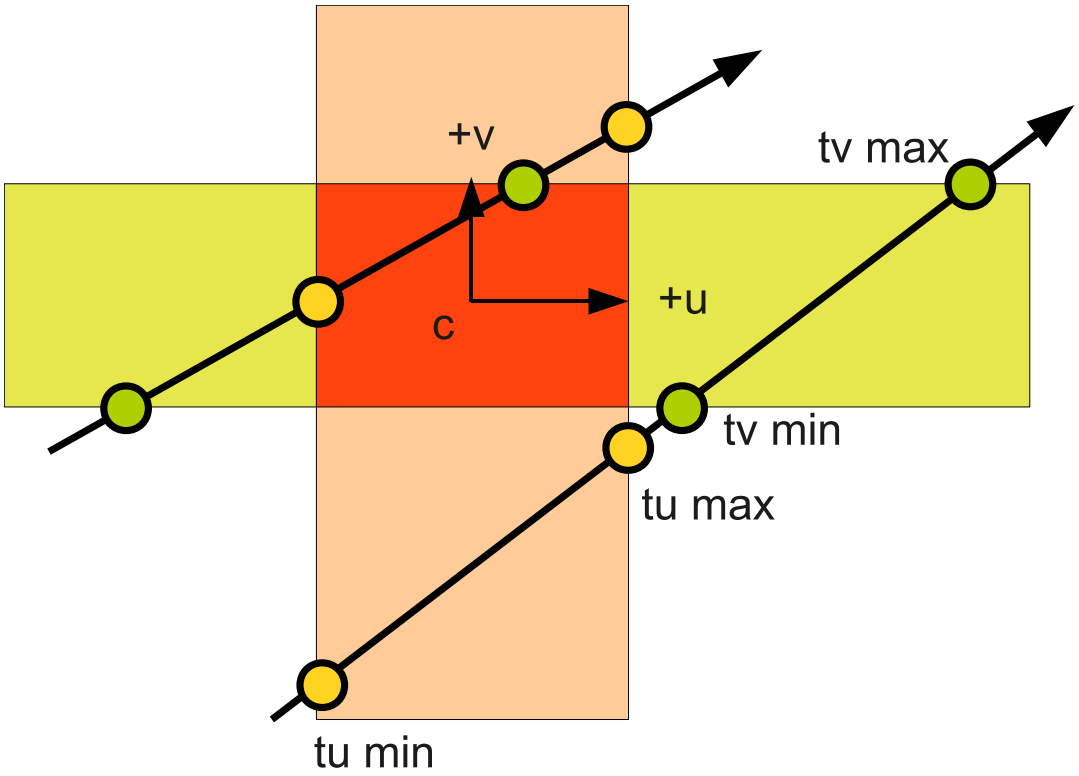
rappels :

- $p(t) = o + t \cdot \vec{d}$,
- $p \in boite(c, \vec{u}, \vec{v}, \vec{w})$
- la boite est l'intersection de 3 paires de plans parallèles :
- $plan(c - \vec{u}, -\vec{u})$, $plan(c + \vec{u}, \vec{u})$,
- $plan(c - \vec{v}, -\vec{v})$, $plan(c + \vec{v}, \vec{v})$,
- $plan(c - \vec{w}, -\vec{w})$, $plan(c + \vec{w}, \vec{w})$,

calculer t^{uvw}_{min} et t^{uvw}_{max} pour chaque paire de plans :
$(-u, u)$, $(-v, v)$ et $(-w, w)$.

intersections : rayon / boite

- l'intersection existe si l'intersection des intervalles n'est pas vide : $max(t^u_{min}, t^v_{min}, t^w_{min}) < min(t^u_{max}, t^v_{max}, t^w_{max})$



intersections : rayon / boite alignée sur les axes

détails et solution numérique robuste :

"An Efficient and Robust Ray-Box Intersection Algorithm"
A. Williams, S. Barrus, R.K. Morey, P. Shirley, 2005

intersection : plusieurs objets

et avec plusieurs objets ?

- le plus simple : tester tous les objets,
- et ne garder que l'intersection valide la plus proche...

mais : peut mieux faire...

schema.

intersection : plusieurs objets

hiérarchie de volumes engobants :

- grouper les objets (ou les primitives) proches,
- calculer une forme simple englobant le groupe,
- si un rayon ne touche pas l'englobant, il ne touche pas non plus les objets du groupe,
- recommencer jusqu'à obtenir un seul groupe...

intersection : plusieurs objets

intersection rayon / arbre :

- si le rayon touche l'englobant de la racine de l'arbre,
- visiter les fils du noeud,
- recommencer...

quels noeuds / feuilles vont être visités ?

schema.

intersection : plusieurs objets

comment trouver rapidement l'intersection la plus proche (de l'origine du rayon) ?

ou se trouve l'intersection la plus proche de l'origine du rayon (a priori) ?

peut-on limiter le nombre de feuilles visité ?

intersection rayon / arbre

trouver l'intersection la plus proche :

- qu'est ce que change l'ordre de visite des fils ?
- idée : visiter en premier le fils le plus proche de l'origine du rayon.

schema.

intersection rayon / arbre

algorithme :

- si le rayon $o + [0..t_{max}] \cdot \vec{d}$ touche l'englobant :
- calculer les intersections du rayon et des 2 fils, t_{gauche} et t_{droite}
- visiter, en premier, le fils "proche",
- puis, visiter le fils "loin".

fils "proche" : $min(t_{gauche}, t_{droite})$,
fils "loin" : $max(t_{gauche}, t_{droite})$.

intersection rayon / arbre

limiter le nombre de feuilles visitées :

- ou se trouvent les groupes d'objets interressants ?
- entre l'origine et une intersection, le rayon est un segment, plus une demi-droite...

schema.

intersection rayon / arbre

algorithme :

- init : $t = \infty$ ou $t = t_{max}$
- si le rayon $o + [0..t] \cdot \vec{d}$ touche l'englobant du noeud :
  calculer les intersections avec les fils,
  visiter le fils proche, puis le fils loin
- si le noeud est une feuille :
  calculer les intersections $t_1, t_2, ...$
  avec les primitives de la feuille,
  $t_{feuille} = min(t_1, t_2, ...)$
  $t = min(t, t_{feuille})$

intersection : plusieurs objets

attention :

- les coordonnées de l'origine et de l'extrémité du rayon sont dans le repère du monde,
- dans quel repère connait-on les coordonnées des objets ?
- si nécessaire, changement de repère de l'objet ou du rayon...

arbre à 2 niveaux : niveau 1 place les objets, niveau 2 primitives de chaque objet, dans leur repère local...

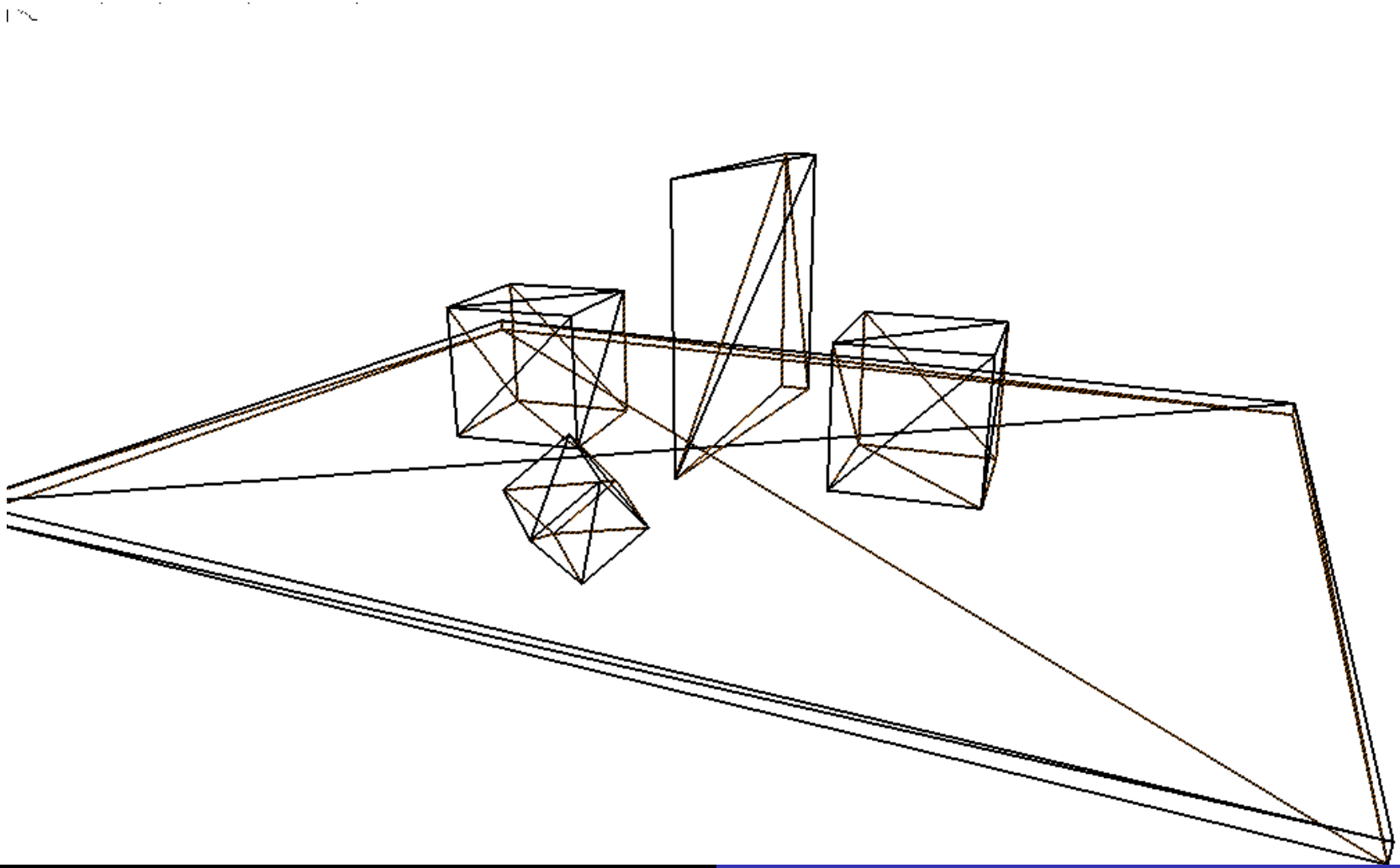
bilan

pour chaque pixel :

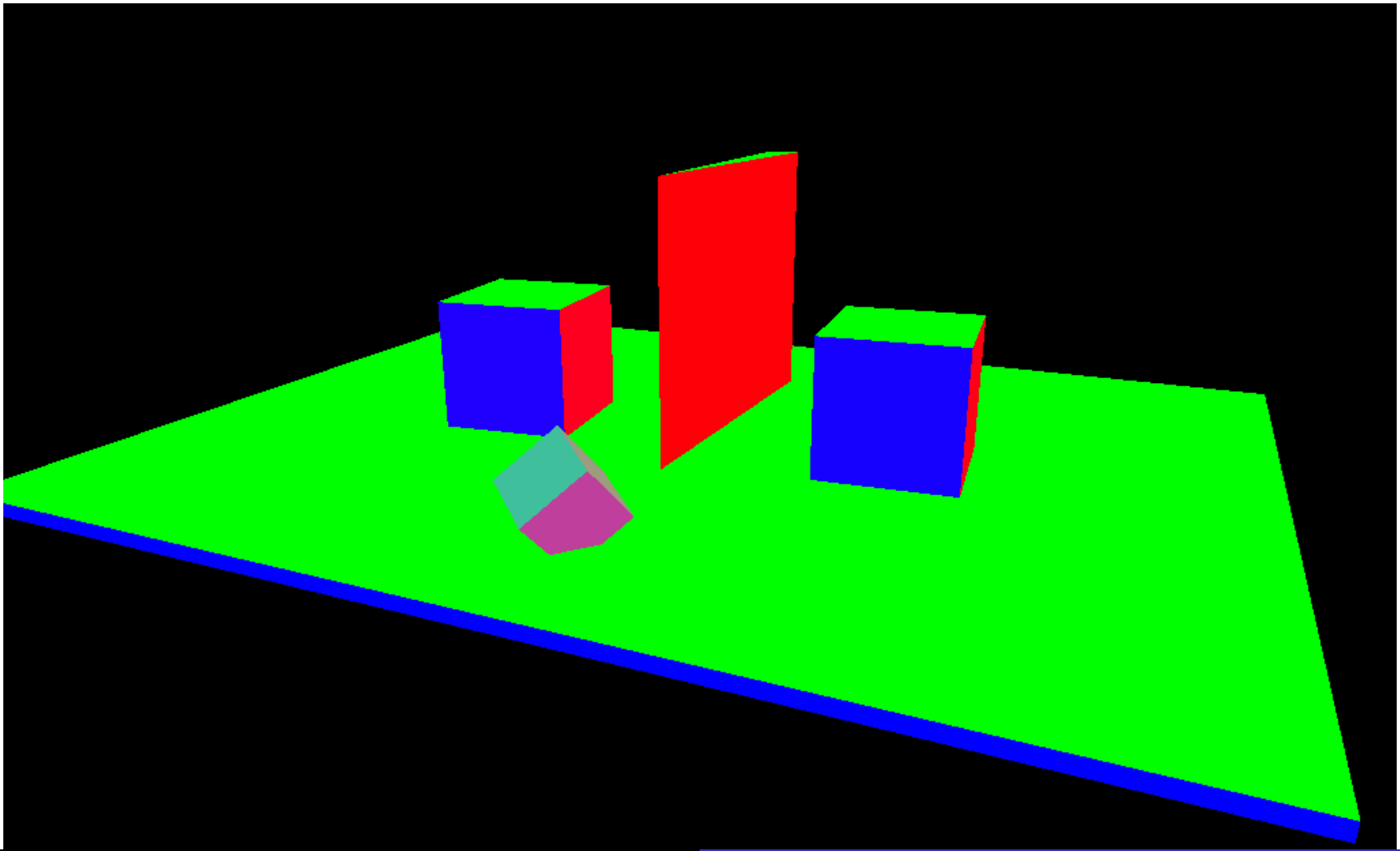
- générer un rayon,
- pour chaque objet :
- calculer l'intersection,
- garder l'objet le plus proche de la camera...

calculer la couleur du pixel en fonction de l'objet trouvé... cf cours sur les matières

exemple : géométrie scène test



exemple : $abs(normal)$



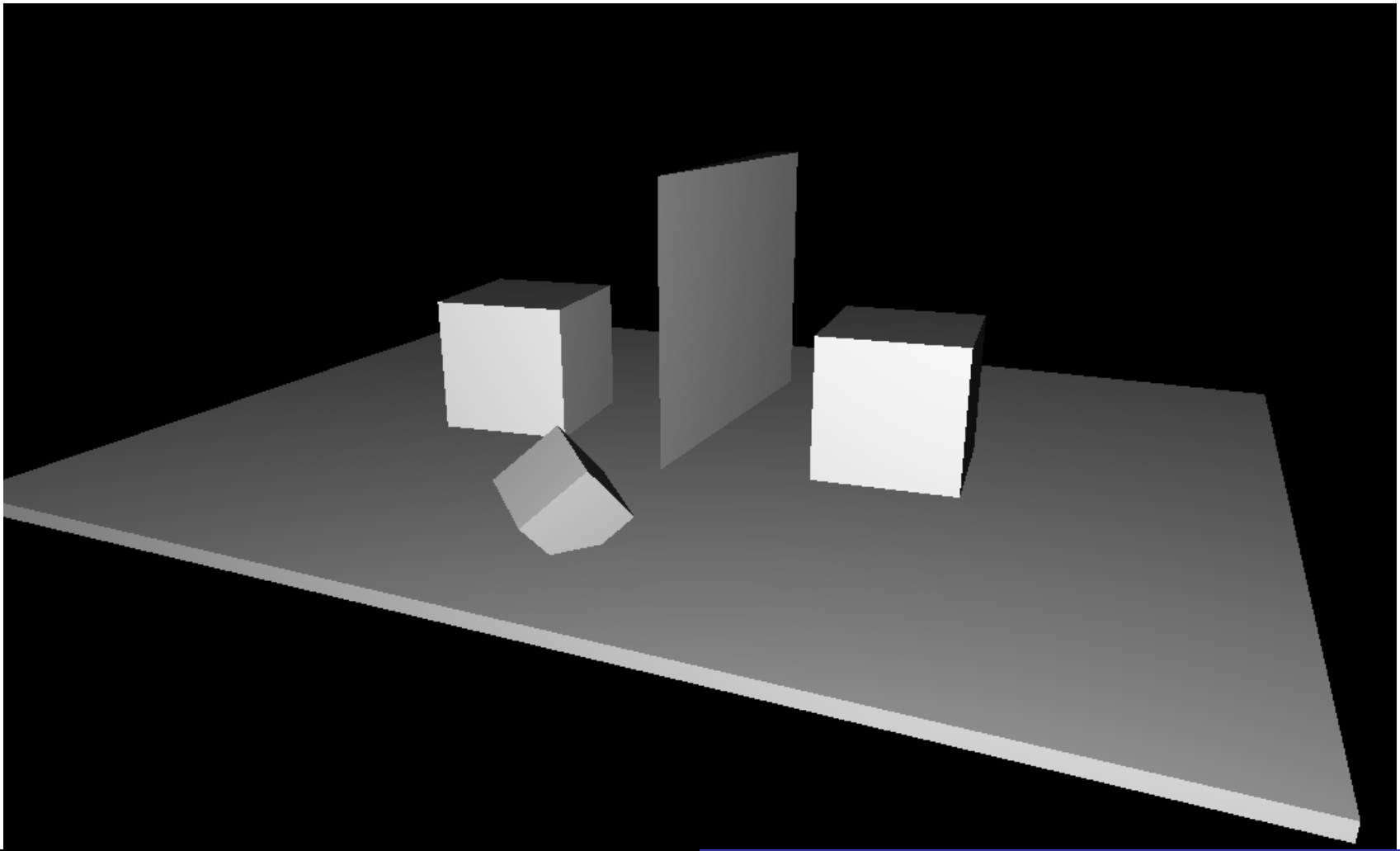
calculer une couleur...

qui dépend de l'orientation de l'objet :

- pourquoi ?
- réalité physique...

et accessoirement, ca permet de distinguer les objets...

exemple : orientation



orientation ?

laquelle ?

- dans le repère local, monde, camera ?
- ...

orientation ?

laquelle ?

- par rapport à la position de la camera,
- éclaire l'objet avec une "torche"...

comment éclairer un objet par rapport à une lumière ?

quel est l'interet du lancer de rayons ?

quelles sont les différences :

- fragmentation de primitives (points, lignes, triangles) utilisée par une carte graphique,
- calcul des intersections avec un rayon ?

quel est l'interet du lancer de rayons ?

intersections "plus souples" :

- pas obligé de découper la surface des objets en triangles,
- intersection avec les "vraies" surfaces : plans, spheres, etc.
- intersection avec des formes différentes : nuages, fractales, champ de distance,

simulations "plus simples" :

- reflets, transparence,
- ombres,
- éclairage global...

mais on peut faire ça : champ de distance

cf shadertoy

quels sont les problèmes du lancer de rayons ?

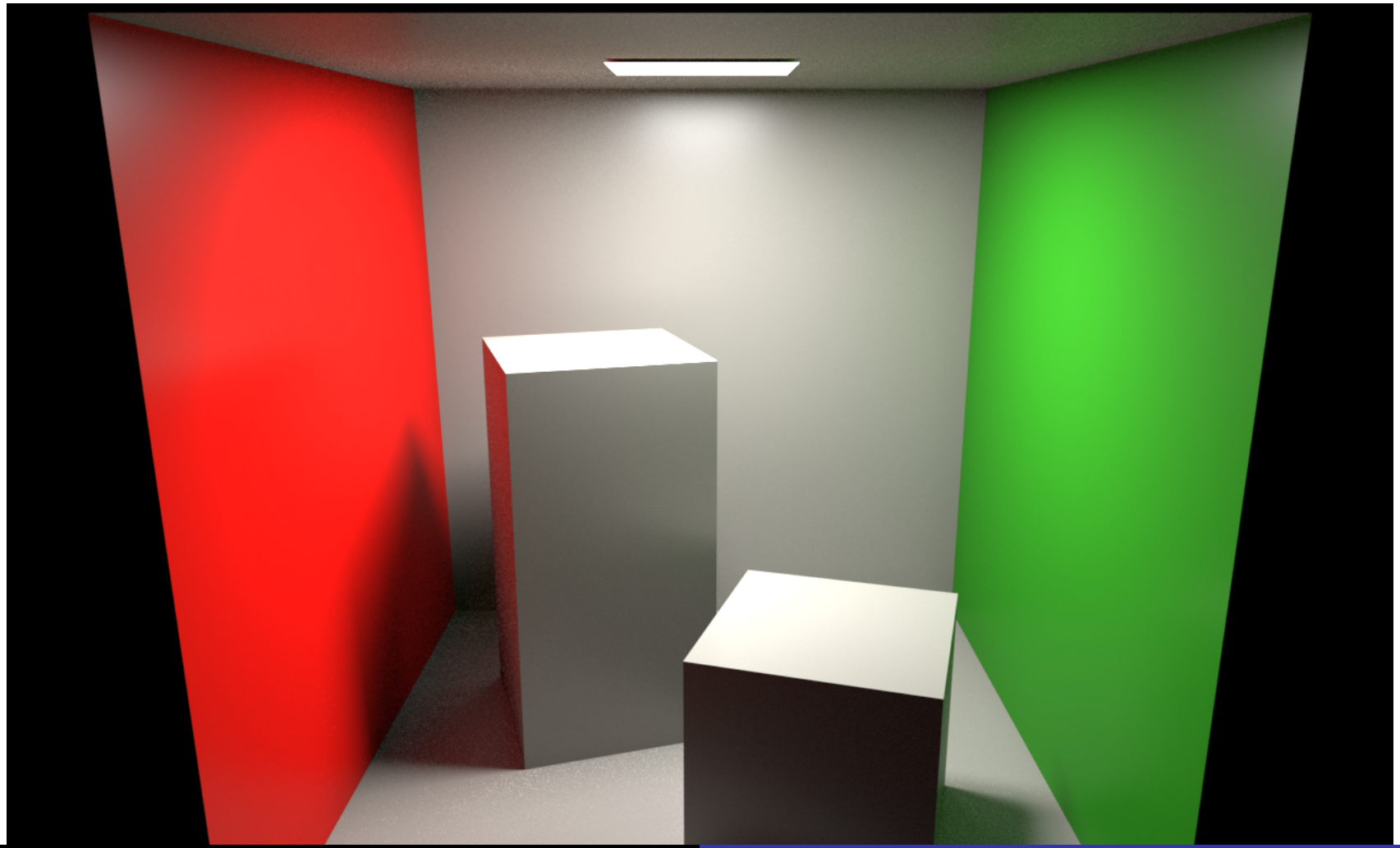
memoire :

- fragmentation : traite un seul triangle à la fois, pour un seul point de vue
- lancer de rayons : traite tous les triangles, pour des points de vues quelconques

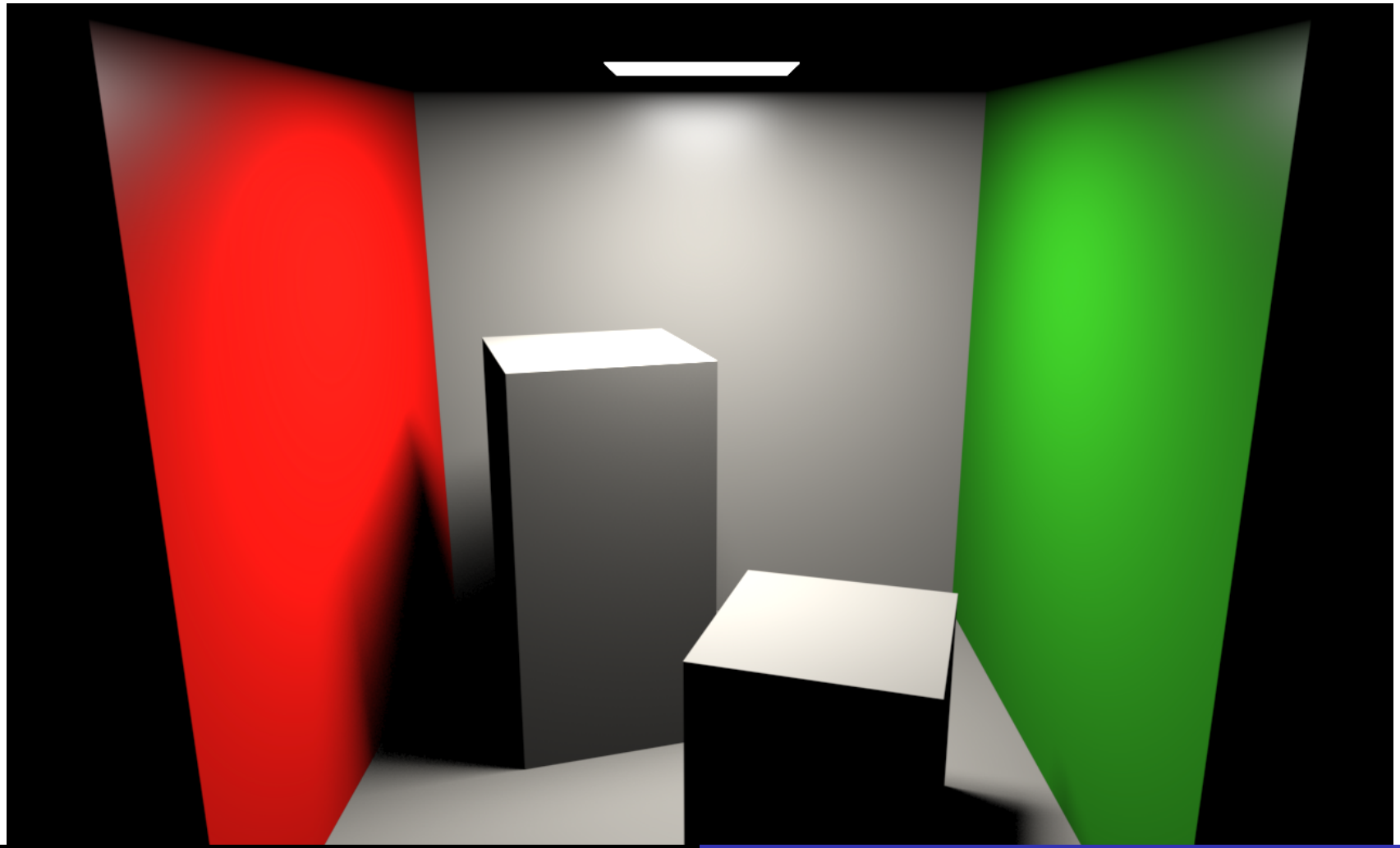
efficacité :

- fragmentation : matériel dédié, très (très) rapide,
- lancer de rayons : calculer toutes les intersections est très (très) long,
  structures accélératrices obligatoires... cf hiérarchie d'englobants, cours précédent)

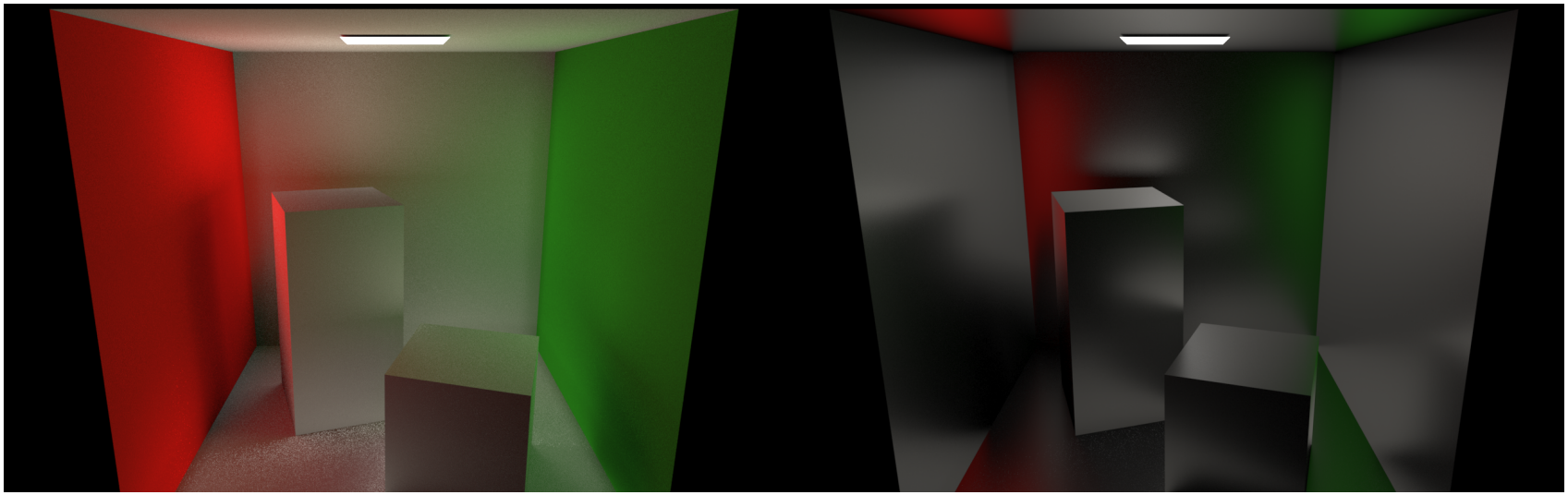
mais on peut faire ça : éclairage global



mais on peut faire ça : éclairage local



mais on peut faire ça : + parties diffuse et reflechissante



et si c'est toujours trop lent ?

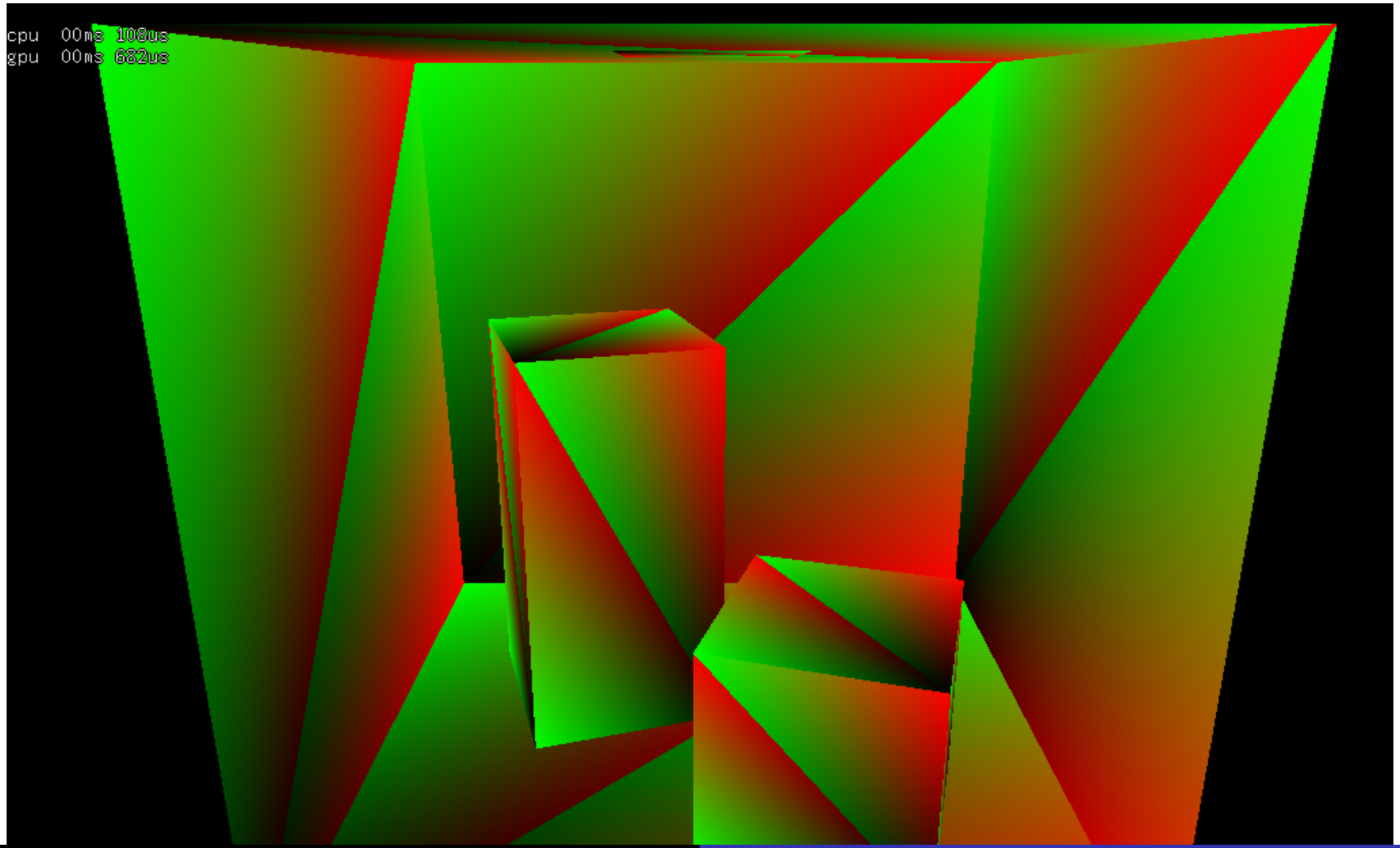
on peut utiliser une carte graphique...

- pour faire les calculs d'intersection,
- en parallèle, sur plusieurs milliers de rayons en même temps...

cf tuto_raytrace_fragment dans gKit2.

$< 1ms$ pour $1M$ de rayons

tutos/M2/tuto_raytrace_fragment.cpp



et si c'est toujours trop lent ?

cf shadertoy