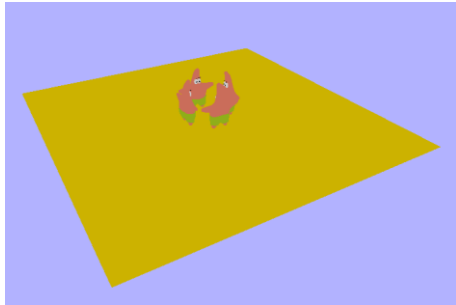
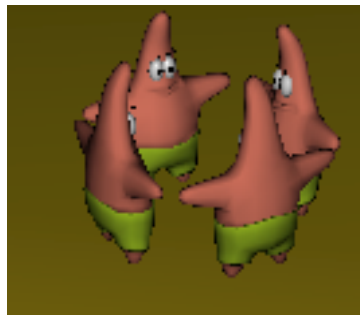
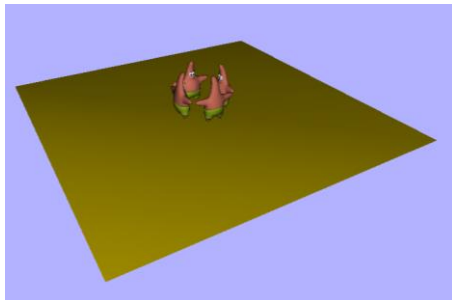


Realisme (I)

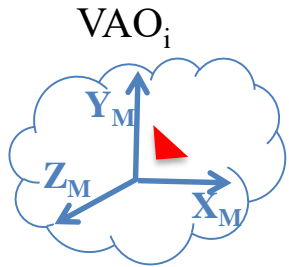
- Realisme: Eliminació de parts amagades



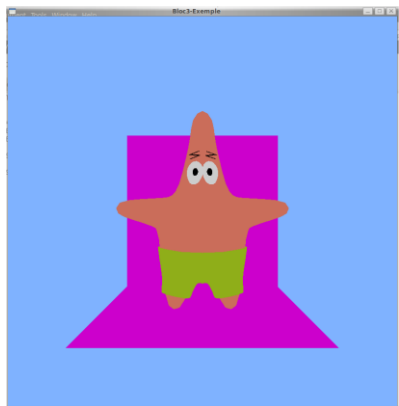
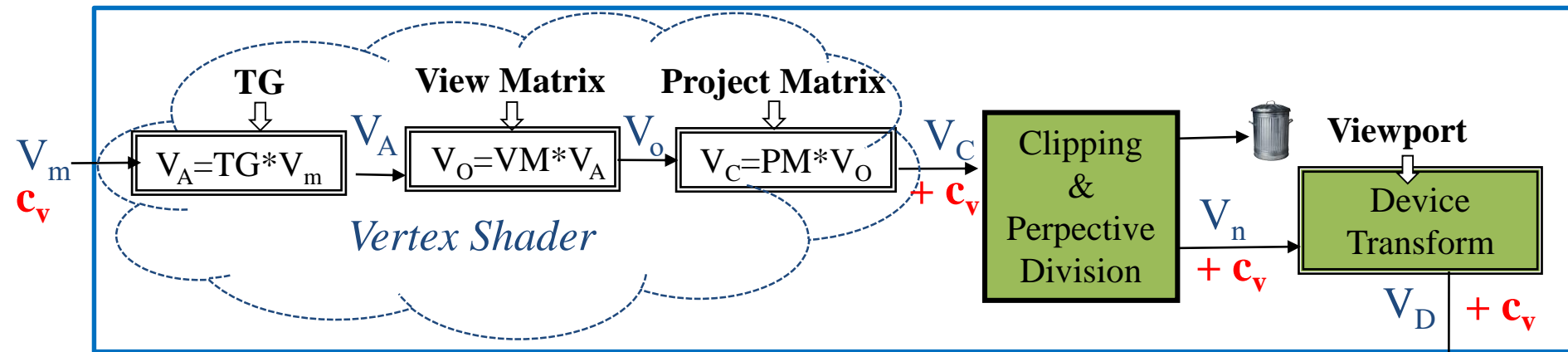
- Realisme: models d'il·luminació



Procés de visualització(1)



Processament
de vèrtexs



Processament de
fragments

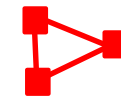
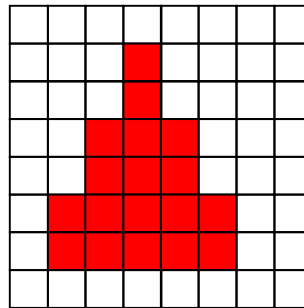
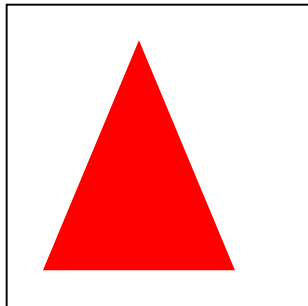
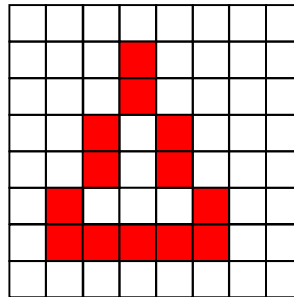
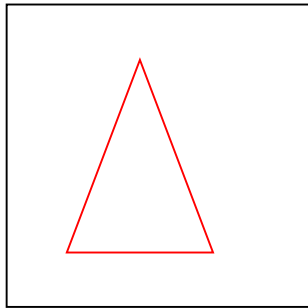
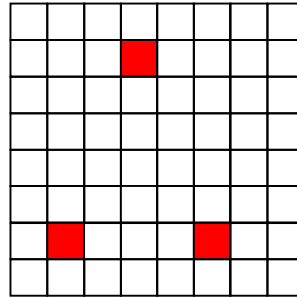
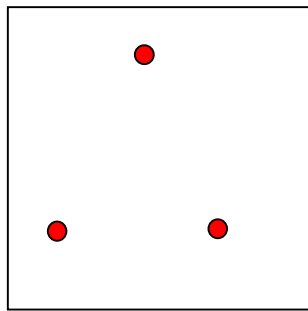
$\{(xf, yf, c)\}$

$\{(xf, yf, zf)_D, cf\}$

Rasterització

Algorismes de rasterització

La discretització és diferent per a cada primitiva: punt, segment, polígon



$$V_D = (x_D, y_D, z_D) + c_v$$



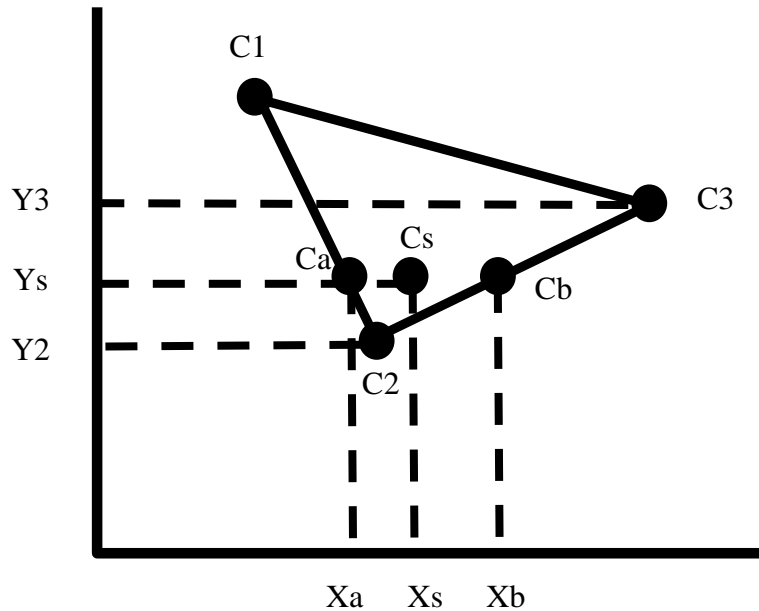
Rasterització



$\{(x_f, y_f, z_f, c_f)\}$

Shading (colorat) de polígons

- Colorat Constant \equiv Flat shading $\rightarrow C_f = C_l$
color uniforme per tot el polígon (funció del color calculat en un vèrtex); cada cara pot tenir diferent color.
- Colorat de Gouraud \equiv Gouraud shading \equiv Smooth shading

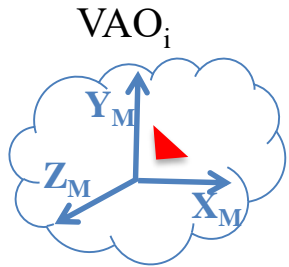


$$C_a = \frac{1}{Y_1 - Y_2} (C_1(Y_s - Y_2) + C_2(Y_1 - Y_s))$$

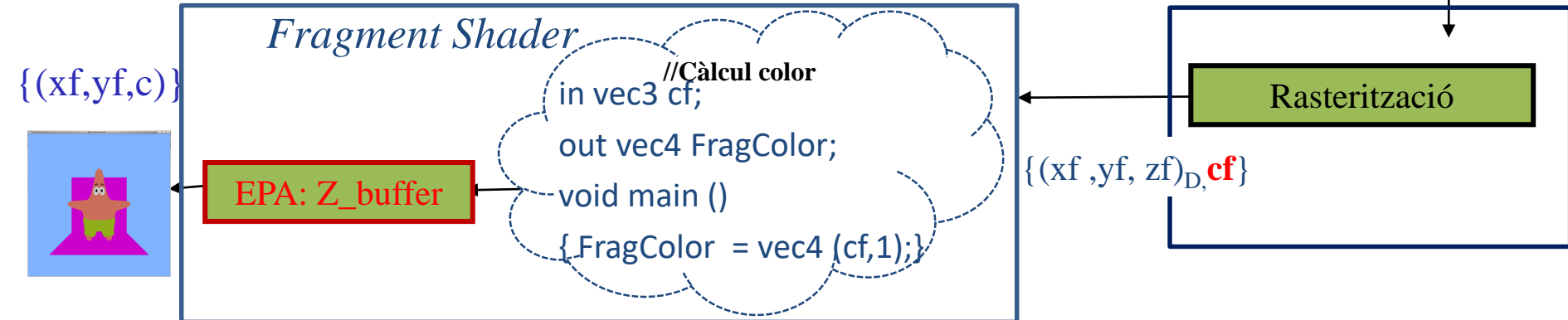
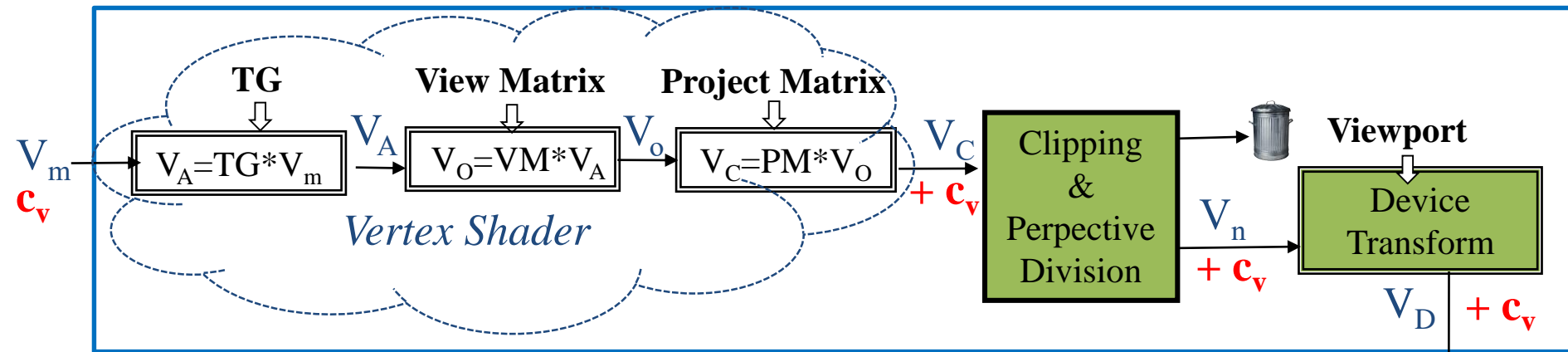
$$C_b = \frac{1}{Y_3 - Y_2} (C_2(Y_3 - Y_s) + C_3(Y_s - Y_2))$$

$$C_s = \frac{1}{X_b - X_a} (C_a(X_b - X_s) + C_b(X_s - X_a))$$

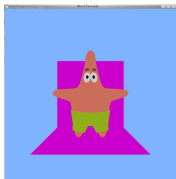
Procés de visualització(2)



Processament de vèrtexs

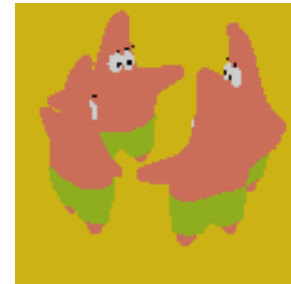


Processament de fragments



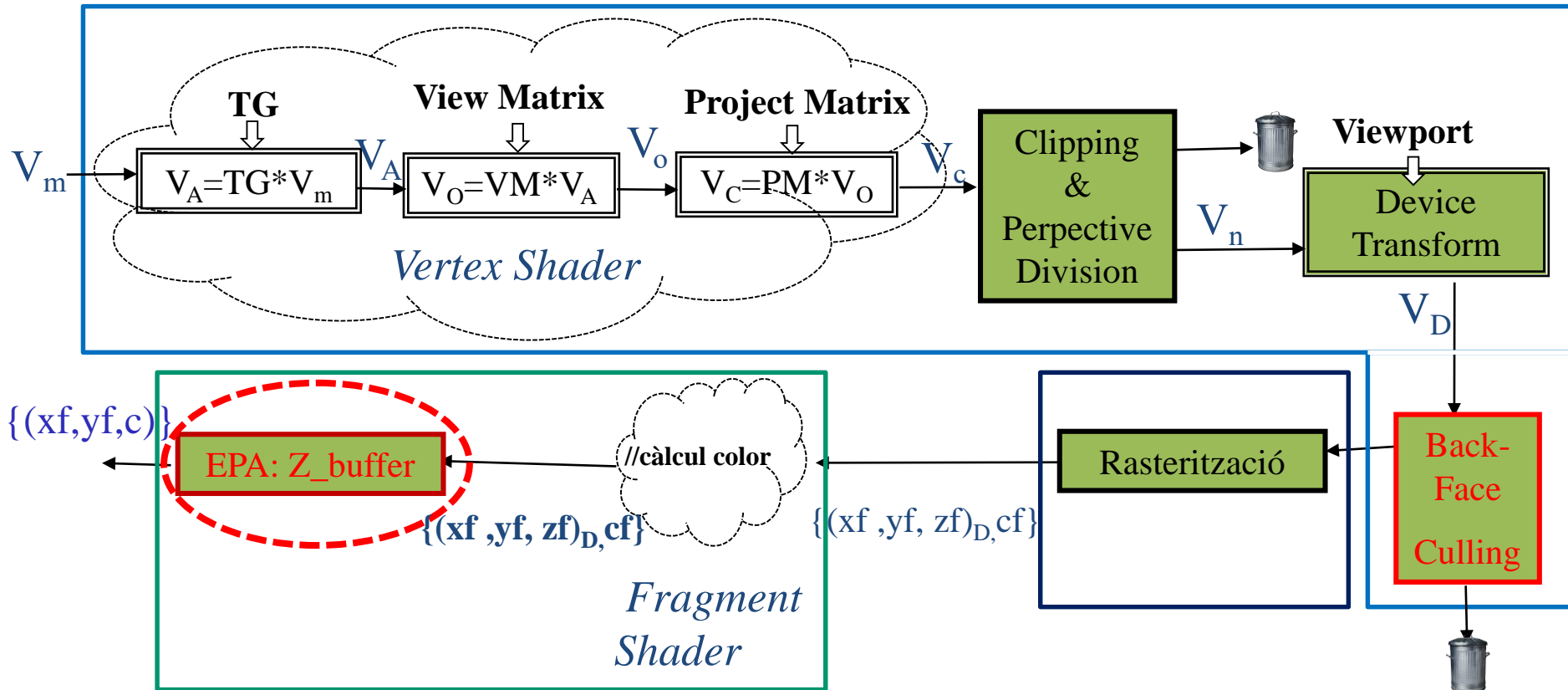
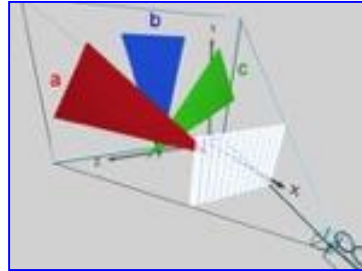
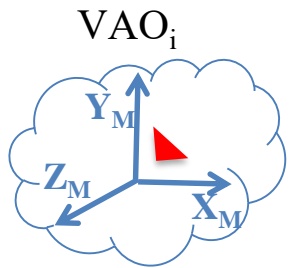
Realisme (I)

- **Realisme: Eliminació de parts amagades**
 - Depth-buffer
 - Back-face culling
- Realisme: Il·luminació (1)
 - Càlcul del color en un punt
 - Models d'il·luminació empírics



Bibliografia: capítol EPA&Il·luminació del llibre multimèdia

Procés de visualització: EPA (1)



Depth Buffer

- Mètode EPA en espai imatge (*a nivell de píxel/fragment*)
- Després de la **rasterització i del Fragment Shader**
- Requereix conèixer per a cada píxel, un valor (depth) que sigui proporcional a la distància a l'observador a la que es troba el polígon que es projecta en el píxel.
- No importa ordre en que s'enviïn a pintar els triangles (ordre en què estiguin en VBO)
- No requereix tenir el Back-face culling activat

Depth Buffer (z-buffer)

Dos buffers de la mateixa resolució que la pantalla

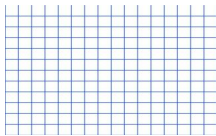
Buffer color (frame_buffer)

$(r, g, b) \in [0, 2^n - 1]$

Buffer profunditats (depth_buffer)

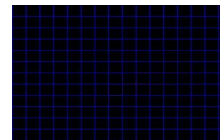
$z \in [0, 2^{n_z} - 1]$

1. Inicialitzar al color de fons

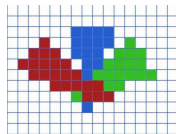


`glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT)`

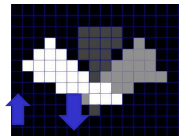
1. Inicialitzar al més lluny possible



2. Per a cada fragment



$\{(x_f, y_f, c_f)\}$

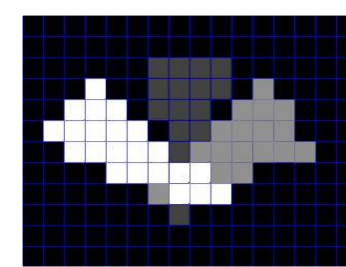
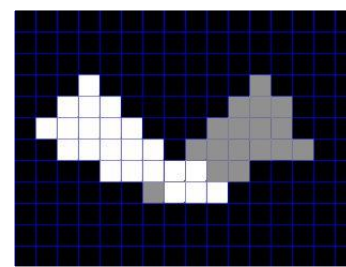
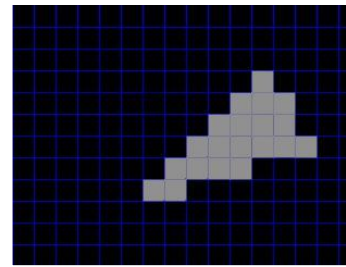
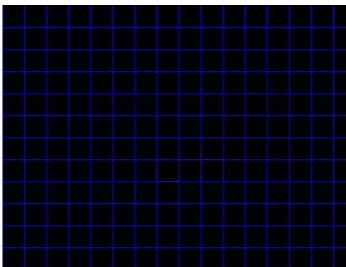
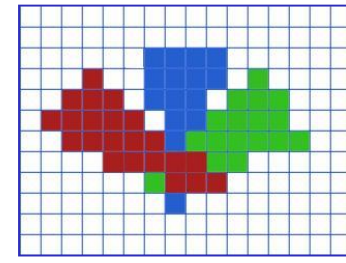
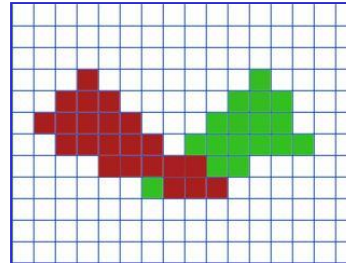
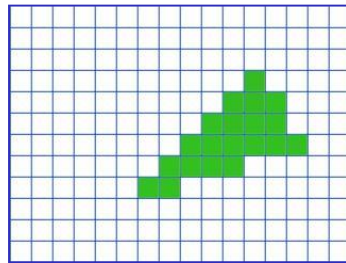
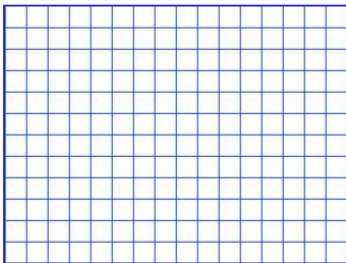
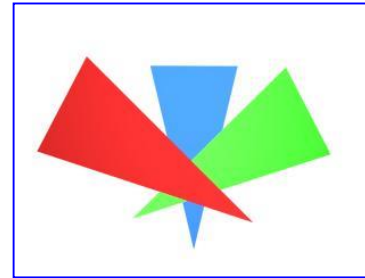
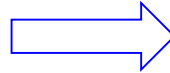
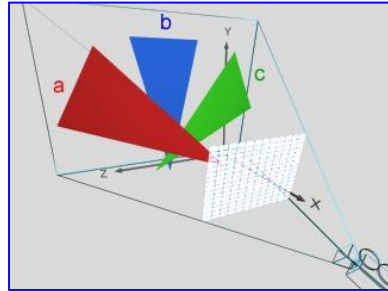


depth-test

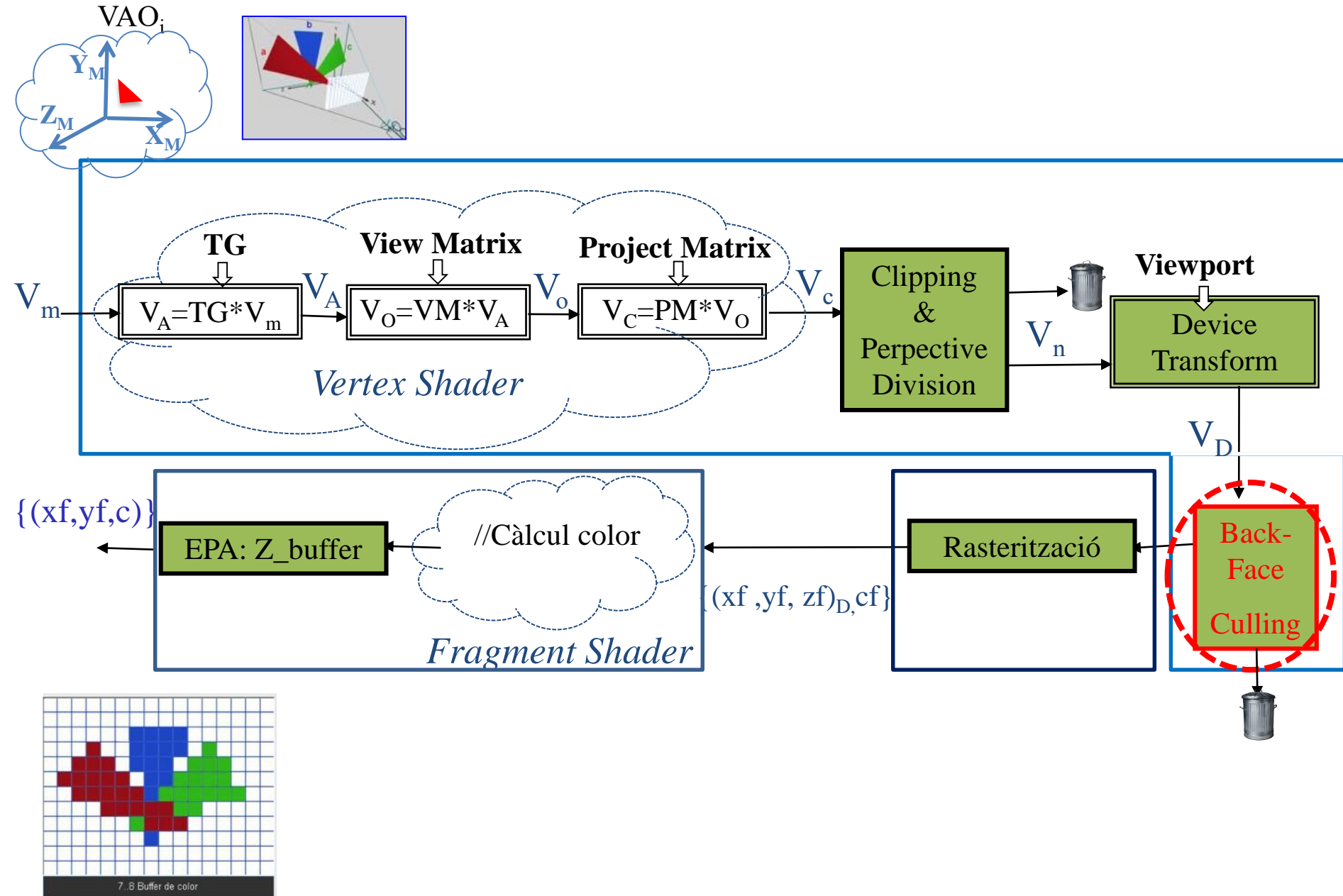
$\{(x_f, y_f, z_f, c_f)\}$

```
if (z_f < depth_buffer[x_f, y_f]) {  
    depth_buffer [x_f, y_f] = z_f;  
    color_buffer [x_f, y_f] = c_f;  
}
```

Depth Buffer (z-buffer)

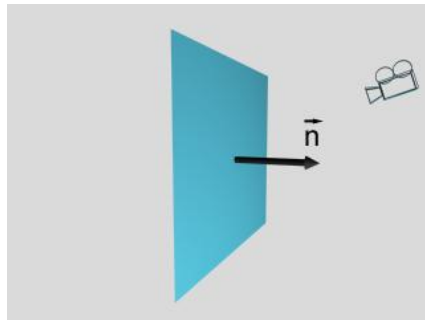


Procés de visualització: EPA (2)

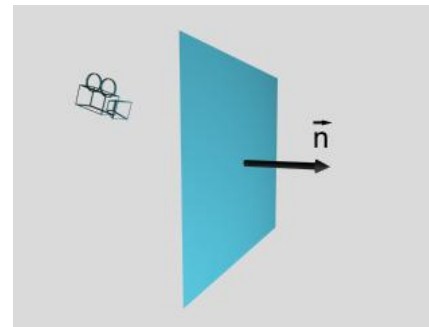


Back-face Culling

- Mètode EPA en espai *objecte* (a nivell de triangle)
- Requereix cares orientades, opaques, objectes tancats
- Considera escena formada només per la *cara* i l'*observador*
- És conservatiu (determina les cares que “segur” no són visibles)

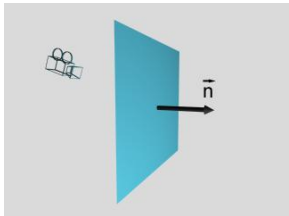
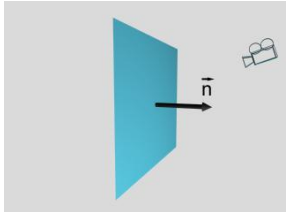


visible

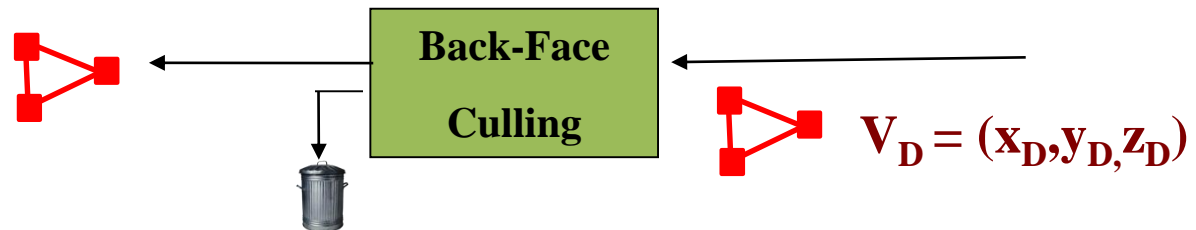


no visible

Back-face Culling

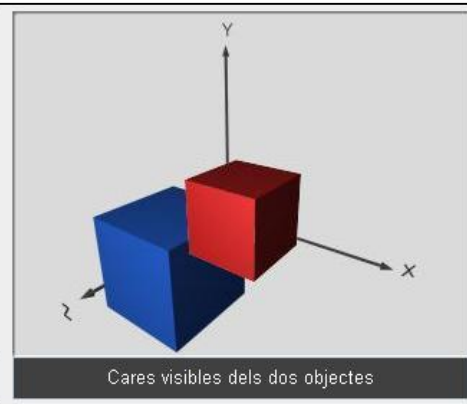
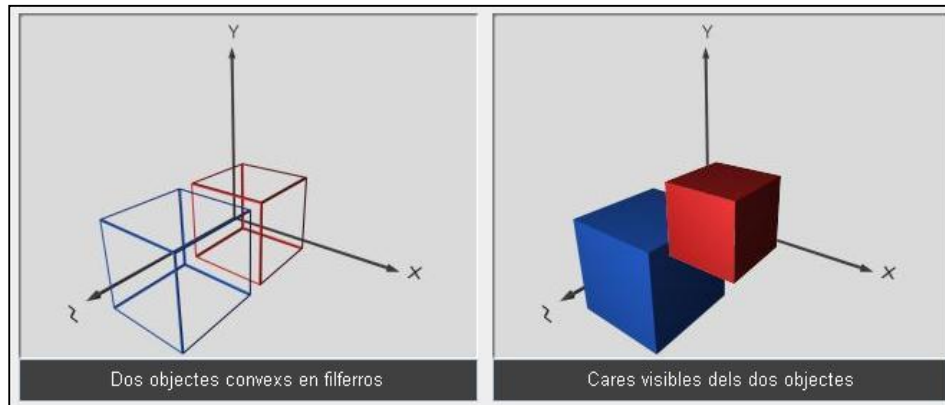
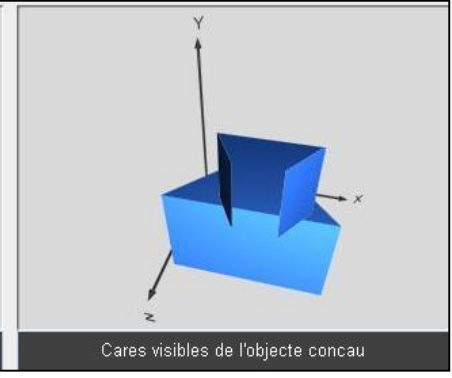
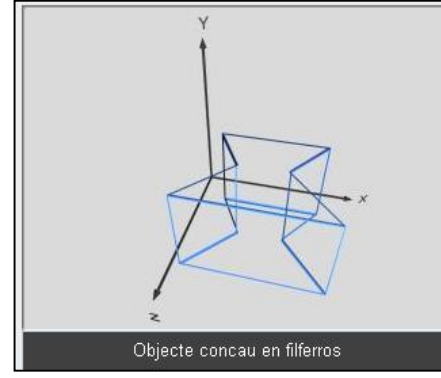
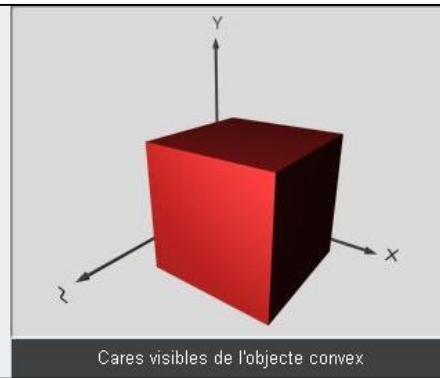
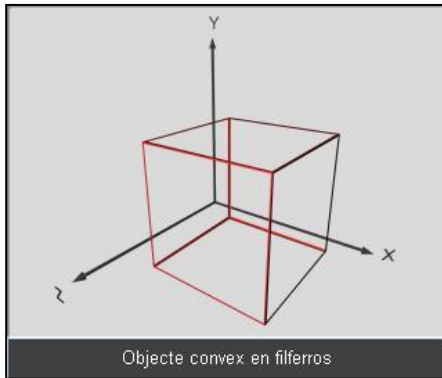


- OpenGL fa el càlcul en coord. dispositiu
 - direcció de visió $(0,0,-1)$
 - visibles les cares amb $n_z > 0$ (ordenació vèrtexs antihorari)
 - el càlcul de la normal de la cara el fa OpenGL a partir dels vèrtexs en coordenades de dispositiu => **importància ordenació vèrtexs.**



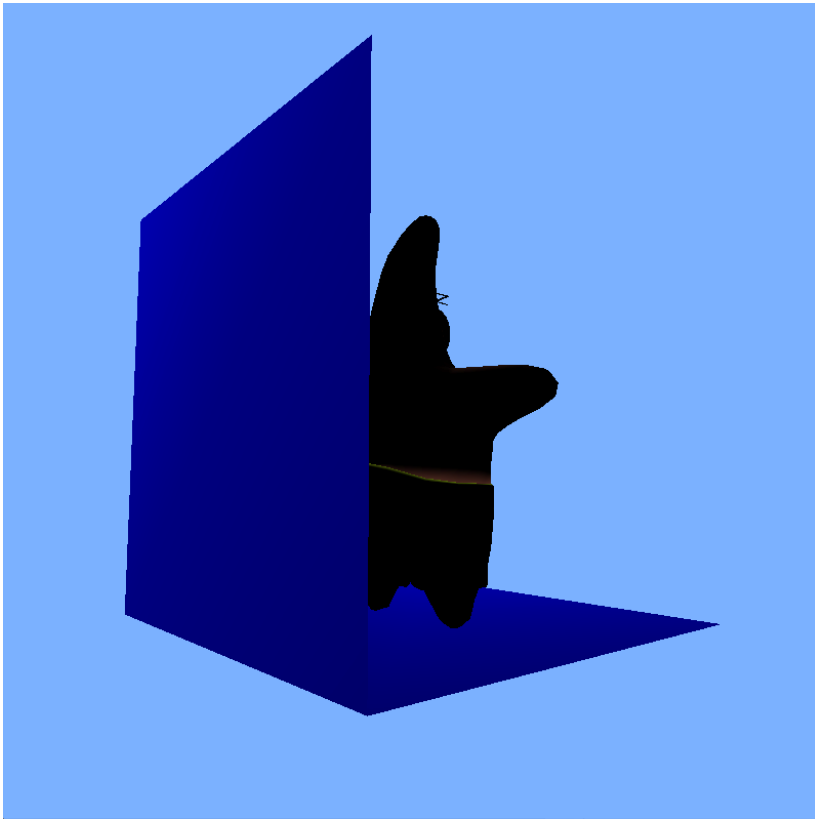
Back-face Culling

- Culling com a EPA només si l'escena conté un únic objecte convex.

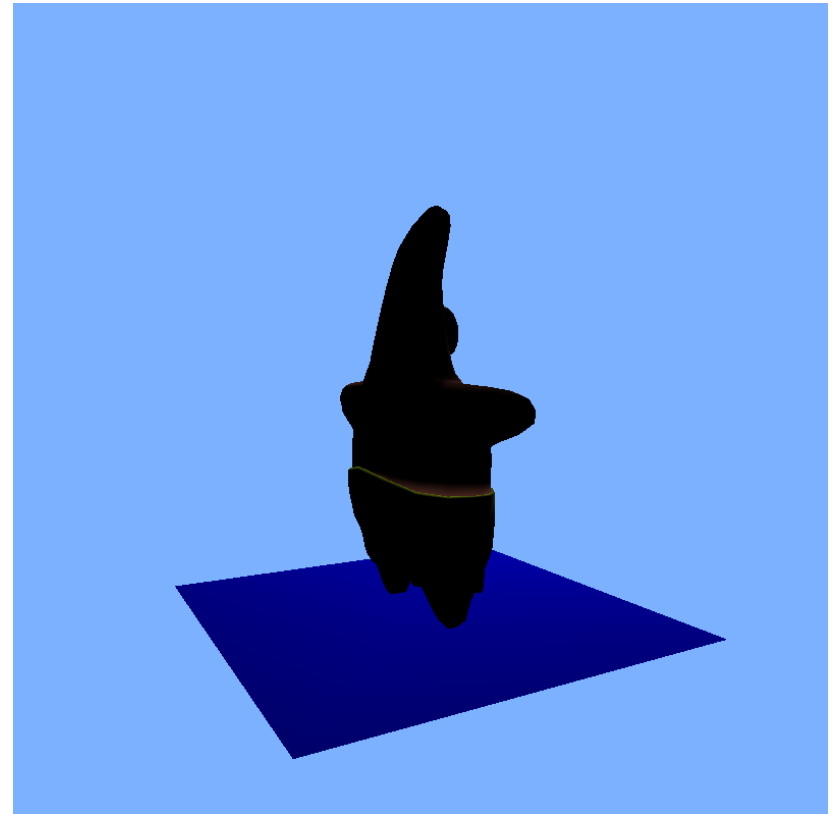


Exemple que podreu comprovar al laboratori

Sense back-face culling



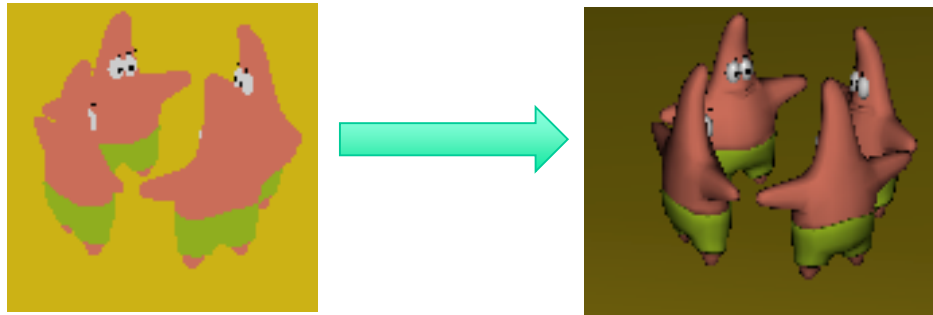
Amb back-face culling



```
glEnable (GL_CULL_FACE);
```

Realisme (I)

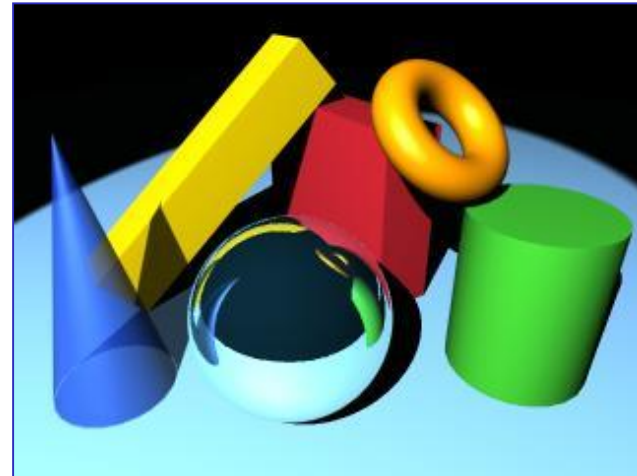
- Realisme: Eliminació de parts amagades
 - Depth-buffer
 - Back-face culling
- **Realisme: Il·luminació (1)**
 - Càlcul del color en un punt
 - Models d'il·luminació empírics



Bibliografia: capítol EPA&Il·luminació del llibre multimèdia

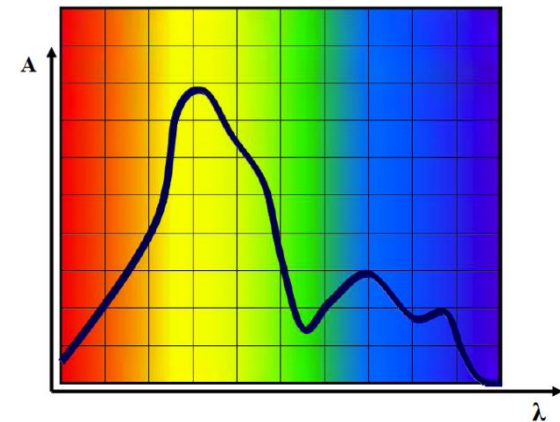
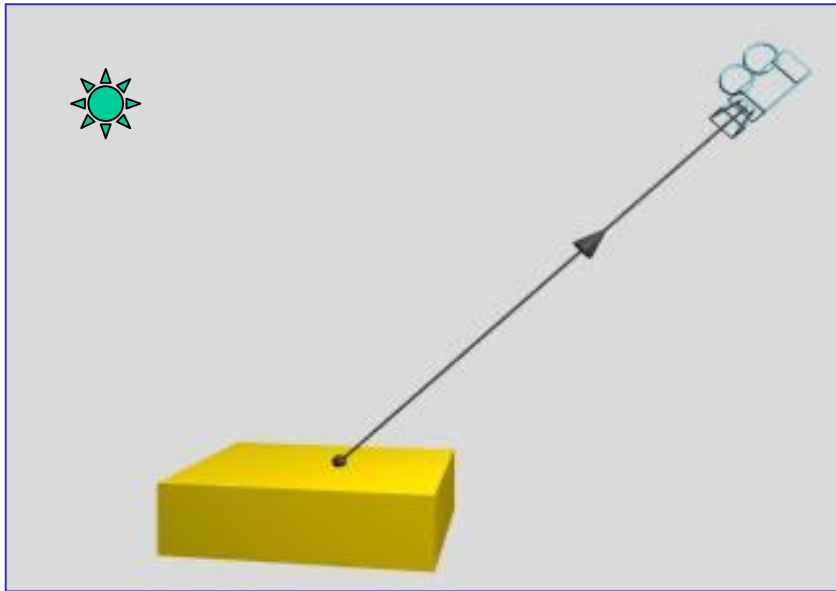
Introducció

- Els models d'il·luminació simulen el comportament de la llum per determinar el color d'un punt de l'escena.
- Permeten obtenir imatges molt més realistes que pintant cada objecte d'un color uniforme:



Color d'un punt

El color amb el que un Observador veu un punt P de l'escena és el color de la llum que arriba a l'Obs procedent de P: $I_\lambda(P \rightarrow Obs)$

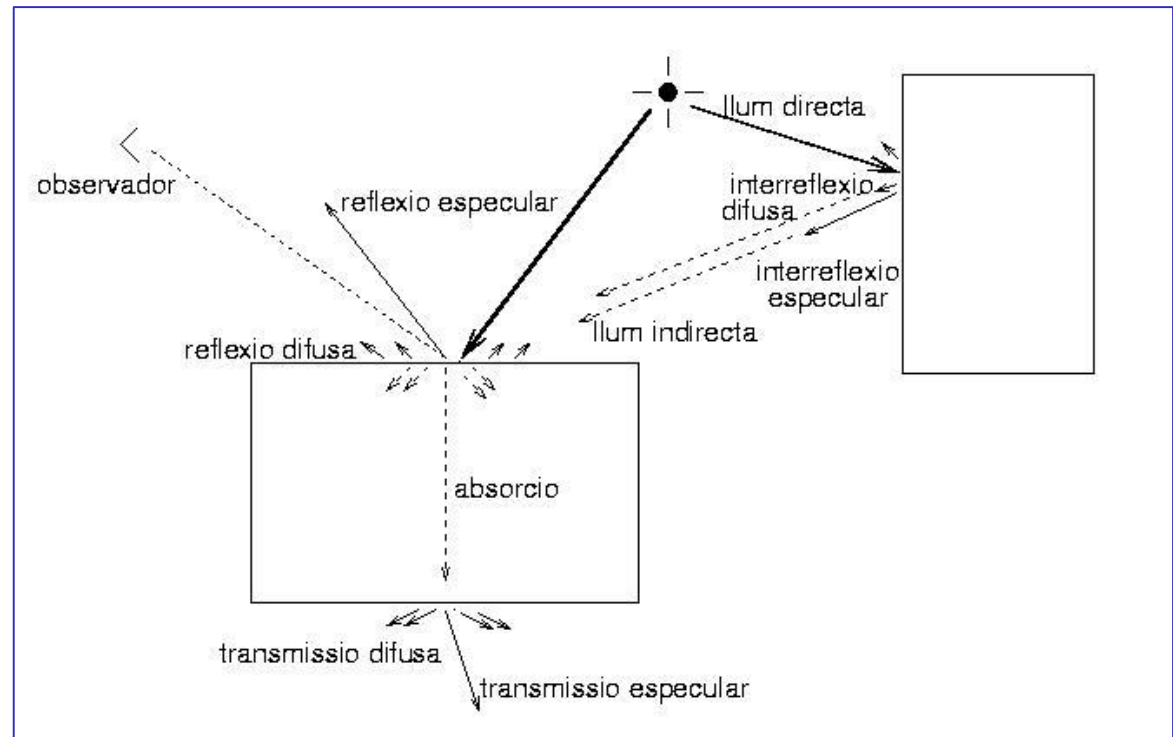


$$I_\lambda(P \rightarrow Obs) \quad \lambda \in \{r, g, b\}$$

Elements que intervenen

El color que arriba a l'Obs procedent de P, $I_\lambda(P \rightarrow Obs)$,
funció de:

- Fonts de llum
- Materials
- Altres objectes
- Posició de l'observador
- Medi pel que es propaga



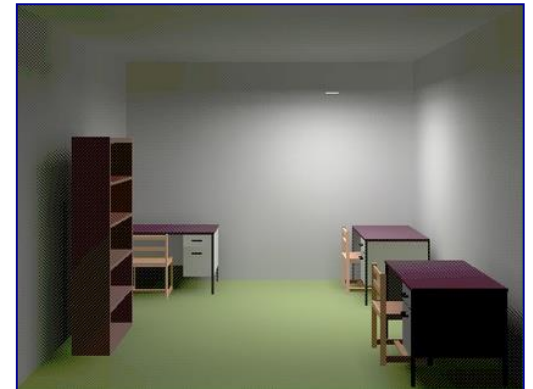
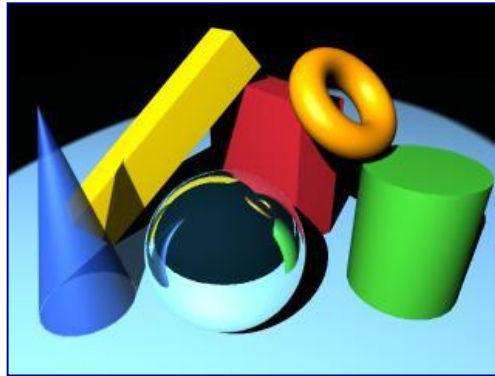
Models d'il·luminació

- Els models d'il·luminació simulen les lleis físiques que determinen el color d'un punt.
- El càlcul exacte és computacionalment inviable.
- Una primera simplificació és usar només les energies corresponents a les llums vermella, verda i blava.

$$I_{\lambda}(P \rightarrow Obs) \quad \lambda \in \{r, g, b\}$$

Models d'il·luminació: Classificació

- Models Locals o empírics
- Models Globals: traçat de raig, radiositat



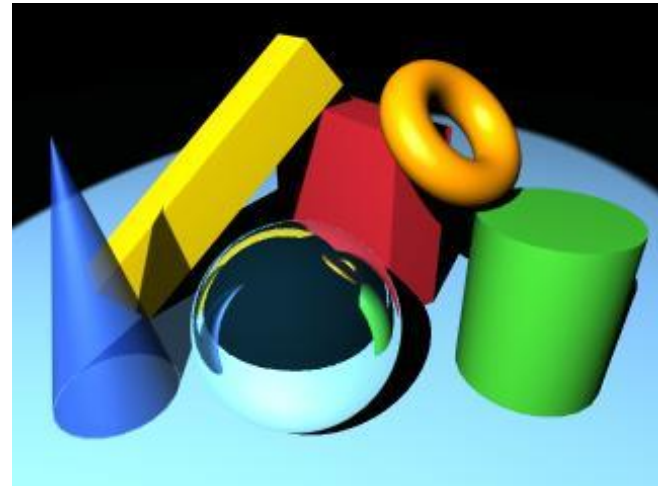
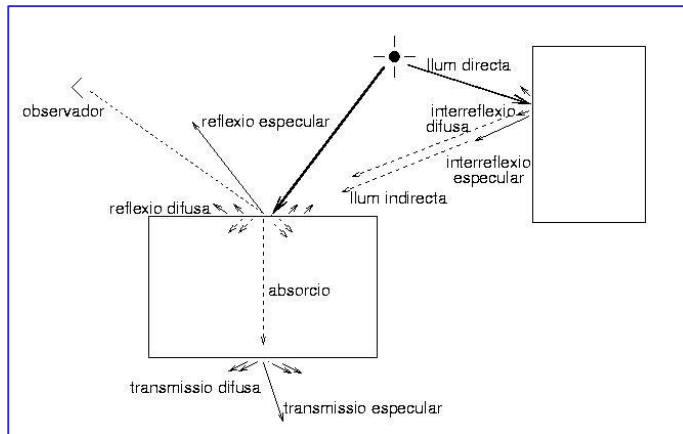
Models locals o empírics

- Només consideren per al càlcul del color: el punt **P** en què es calcula, els focus de llum (sempre puntuals) i la posició de l'observador.
- No consideren altres objectes de l'escena (**no ombres, no miralls, no transparències**).
- Aproximen la transmissió de la llum per fórmules empíriques i les propietats de reflexió dels materials per constants.



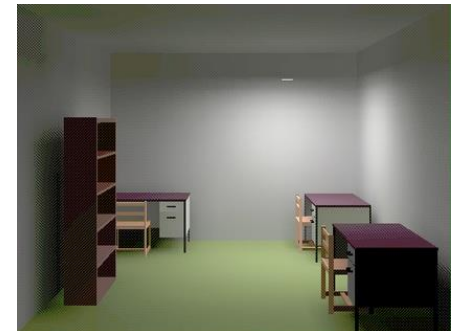
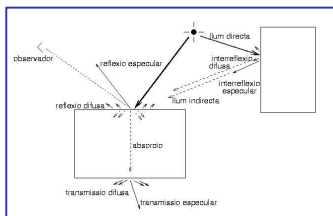
Models de traçat de raig

- Els models d'il·luminació de traçat de raig consideren:
 - Focus de llum puntuals
 - Altres objectes existents en l'escena però **només transmissions especulars**
- Permeten simular ombres, transparències i miralls.
- Són més costosos en càlcul.



Models de radiositat

- Consideren els focus de llum com un objecte qualsevol de l'escena.
- Els objectes només poden produir **reflexions difuses pures**.
- Com que totes les reflexions són difuses, la radiositat no considera la posició de l'observador.
- Poden **modelar ombres i penombres, però no miralls ni transparències**.
- Són els més costosos i es basen en l'anàlisi de l'intercanvi d'energia entre tots els objectes de l'escena.



Realisme (I)

- Realisme: Eliminació de parts amagades
 - Depth-buffer
 - Back-face culling
- **Realisme: Il·luminació (1)**
 - Càlcul del color en un punt
 - **Models d'il·luminació empírics**

Model empíric ambient

- No es consideren els focus de llum de l'escena.
- La llum ambient és deguda a reflexions difuses de llum entre objectes, per tant es considera que no prové de cap focus específic i no té cap direcció concreta.
- Tots els punts de l'escena reben la mateixa aportació de llum.
- S'observarà el mateix color en tots els punts d'un mateix objecte.
- Equació: $I_{\lambda}(P) = I_{a\lambda} k_{a\lambda}$
 - $I_{a\lambda}$: color de la llum ambient
 - $k_{a\lambda}$: coef. de reflexió ambient



Model empíric ambient

- Equació: $I_\lambda(P) = I_{a\lambda} k_{a\lambda}$

Exemple amb una esfera amb:

$I_a = (1,1,1)$ i

K_a també blanca amb intensitat variant entre 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 i 1

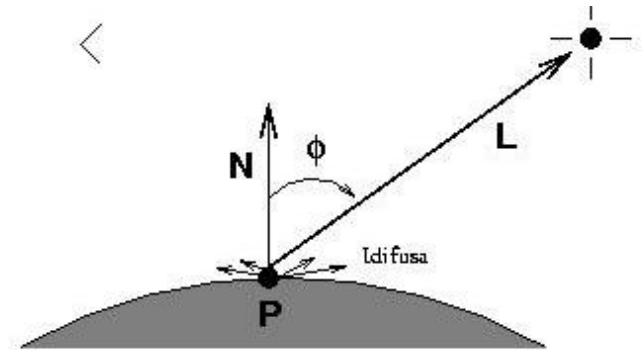


Model empíric difús (Lambert)

- Focus puntuals. Objectes només tenen reflexió difusa pura.
- Podem imaginar que el punt **P** irradia la mateixa llum en totes direccions i per tant el seu color no depèn de la direcció de visió.

$$I_{\lambda}(P) = I_{f\lambda} k_{d\lambda} \cos(\Phi) = I_{f\lambda} k_{d\lambda} \text{dot} (N, L)$$

si $|\Phi| < 90^\circ$



- $I_{f\lambda}$: color (r,g,b) de la llum del focus puntual f
- $k_{d\lambda}$: coef. de reflexió difusa del material
- $\cos(\Phi)$: cosinus de l'angle entre la llum incident i la normal a la superfície en el punt **P**.

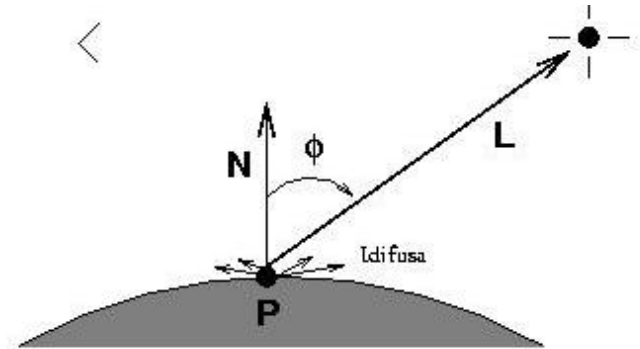
*Pot calcular-se com el producte escalar entre **N** i **L** si estan normalitzats.*



Model empíric difús (Lambert)

$$I_{\lambda}(P) = I_{f\lambda} k_{d\lambda} \cos(\Phi) = I_{f\lambda} k_{d\lambda} \text{dot} (N, L)$$

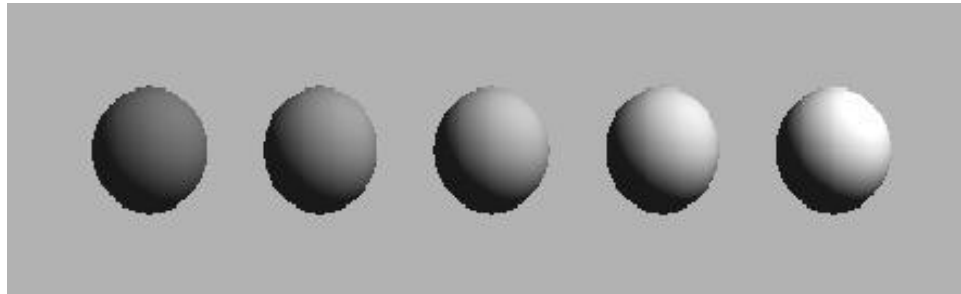
si $|\Phi| < 90^\circ$



Exemple amb una esfera amb:

$$I_f = (1, 1, 1) \text{ i}$$

K_d també blanca amb intensitat variant entre 0.4, 0.55, 0.7, 0.85 i 1



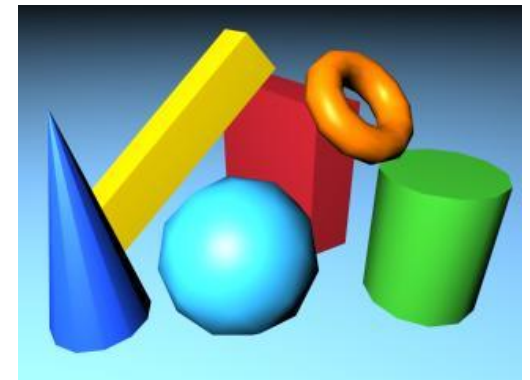
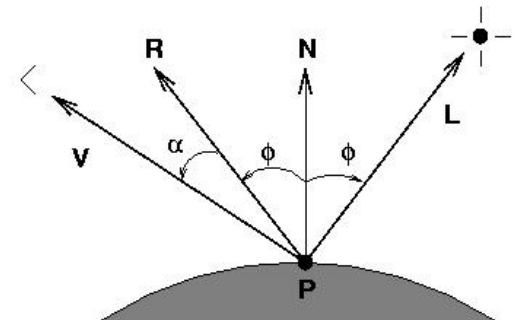
Model empíric especular (Phong)

- Focus de llum puntuals i objectes només reflexió especular.
- L'observador només podrà observar la reflexió especular en un punt si es troba en la direcció de la reflexió especular.
- La direcció d'especularitat és la simètrica de **L** respecte **N** i es pot calcular com: $\mathbf{R} = 2\mathbf{N}(\mathbf{N} \cdot \mathbf{L}) - \mathbf{L}$ si tots els vectors són normalitzats.

$$I_{\lambda}(P) = I_{f\lambda} k_{s\lambda} \cos^n(\alpha) = I_{f\lambda} k_{s\lambda} \text{dot}(\mathbf{R}, \mathbf{v})^n$$

si $|\Phi| < 90^\circ$

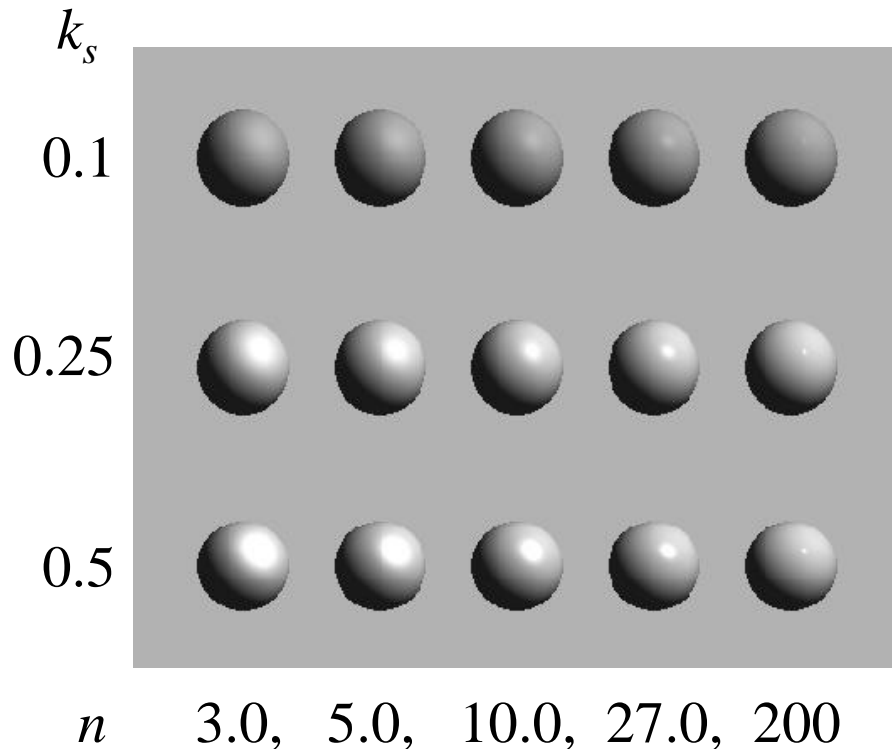
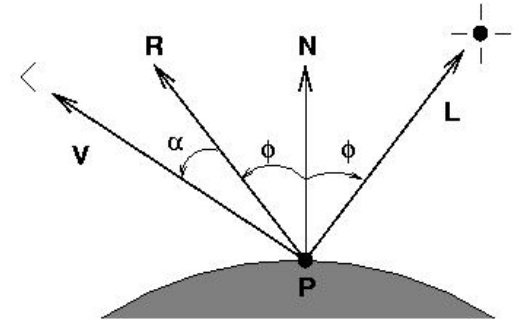
- $I_{f\lambda}$: color (r,g,b) del focus puntual f
- $k_{s\lambda}$: coef. de reflexió especular (x,x,x)
- n : exponent de reflexió especular
- **v** és vector normalitzat que uneix punt amb Obs



Model empíric especular (Phong)

$$I_{\lambda}(P) = I_{f\lambda} k_{s\lambda} \cos^n(\alpha) = I_{f\lambda} k_{s\lambda} \text{dot}(R, v)^n$$

si $|\Phi| < 90^\circ$



Exemple d'una esfera amb:



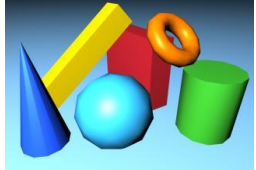
$$I_f = (1, 1, 1)$$

k_d blanca amb intensitat 0.5

k_s blanca amb 0.1, 0.25 i 0.5

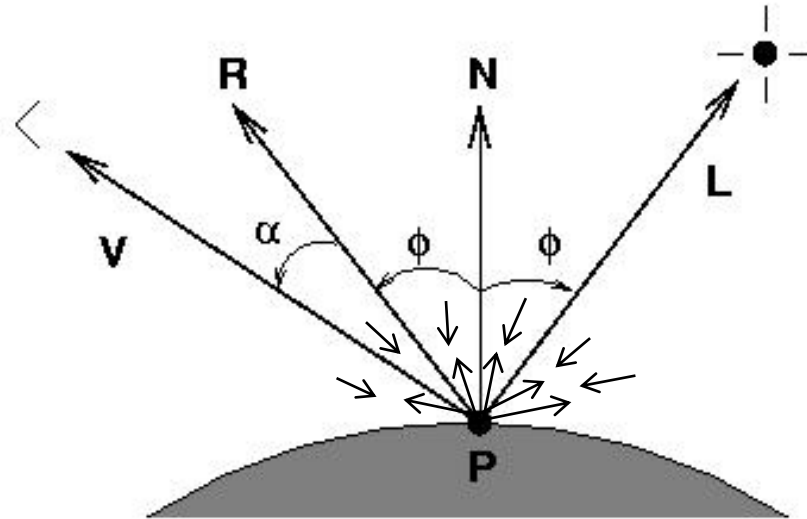
n : 3.0, 5.0, 10.0, 27.0, 200

Resum

| Color d'un punt degut a... | Depèn de la normal? | Depèn de l'observador? | Exemple |
|----------------------------|---------------------|------------------------|--|
| Model ambient | No | No |  |
| Model difús | Sí | No |  |
| Model especular | Sí | Sí |  |

$$I_{\lambda}(P) = I_{a\lambda}k_{a\lambda} + \sum_i (I_{fi\lambda} k_{di\lambda} \cos(\Phi_i)) + \sum_i (I_{fi\lambda} k_{si\lambda} \cos^n(\alpha_i))$$

$$I_{\lambda}(P) = I_{a\lambda} k_{a\lambda} + \sum_i (I_{fi\lambda} k_{d\lambda} \cos(\Phi_i)) + \sum_i (I_{fi\lambda} k_{s\lambda} \cos^n(\alpha_i))$$



Exercici 1:

Quines constants de material definiries si es vol que un objecte sigui de plàstic polit/brillant de color vermell?
Raona la resposta.

Exercici 2:

Una esfera brillant de metall que es veu groga quan s'il·lumina amb llum blanca, la posem en una habitació que té llum ambient $(.5, .5, .5)$ i un únic focus, de llum verda, situat 2 metres damunt de la càmera (en direcció de l'eix y).

Quines zones distingirem en la visualització de l'esfera i de quins colors seran?

Justifiqueu la resposta en relació a les propietats del material de l'esfera i les llums. Imagineu que es calcula el color en cada punt de l'esfera.

Exercici 3:

Disposem de dos cubs amb les seves cares paral·leles als plans de coordenades, longitud d'aresta igual a 2 i centres als punts $(2,1,2)$ i $(5,1,2)$ respectivament. Els dos cubs són de metall gris i s'il·luminen amb un focus de llum verda situat al punt $(20,1,2)$.

Com és possible que la cara del cub_1 situada en $x=3$ es vegi il·luminada si el cub_2 li fa ombra?

Quines altres cares es veuran il·luminades pel focus?

Exercici 4:

Raona amb quins valors inicialitzaries les constants empíriques del material K_d i K_s d'un objecte que té el següent comportament: els reflexos especulars sempre es veuen del mateix color que la llum del focus i la resta de zones il·luminades pel focus es veuen de color groc si el focus és groc i del mateix color que les zones no il·luminades pel focus quan el focus és de color blau.

Penseu-lo vosaltres...

Exercici 5:

Una escena està formada per tres cubs d'aresta 2, centrats als punts $(-5, 0, 0)$, $(0, 0, 0)$ i $(5, 0, 0)$ i amb cares paral·leles als plans de coordenades. Els cubs són de color magenta mat.

Ubiquem un focus de llum blanca en la posició $(0, 0, 0)$. No hi ha llum ambient. De quin color s'observaran les cares dels cubs ubicades en $x=6$ i $x=-4$?

Observació: la ubicació de la càmera permet veure totes dues cares.

- a) Es veuran negres perquè el focus de llum està dins del cub centrat en $(0, 0, 0)$
- b) Si es té activat el *back-face culling*, es veuran les dues cares de color magenta, més fosca la de $x=6$ perquè està més lluny del focus
- c) Es veurà la cara en $x=6$ negra i la $x=-4$ de color magenta
- d) Si es té activat el *back-face culling*, es veuran les dues cares de color magenta, més fosca la de $x=-4$

Penseu-lo vosaltres...

Conceptes i preguntes

- Determinació de visibilitat, eliminació de cares ocultes, algorismes en espai imatge i en espai objecte.
- Shading de polígons. Com i qui el realitza?
- L'algorisme Back-face culling: perquè és conservatiu? Quines són les seves limitacions?
- L'algorisme de depth-buffer: en quin espai treballa? Perquè no importa l'ordre de processament dels fragments? Requereix el back-face culling?
- Classificació dels models d'il·luminació.
- Models empírics o locals: limitacions.
- Model ambient, difús/Lambert, especular/Phong: què modelen? Quines restriccions?
- Interpretació de les constants empíriques. Què significa que un material sigui mat?
- Què és la taca especular? Perquè és produeix? Usualment, quin color té?
- Quina diferència de colorejat observarem en una esfera il·luminada per un focus de llum si només reflecteix llum difusa o si reflecteix difusa i especular?
- El color “base” d'un objecte (color objecte il·luminat per llum blanca), en quina constant empírica queda reflectit?