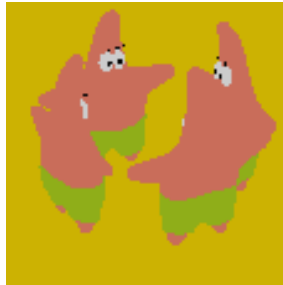
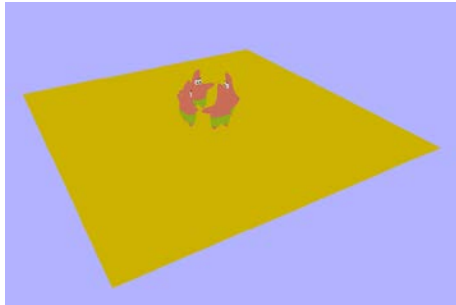
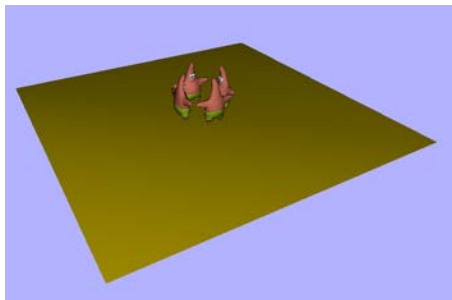


# Realisme (I)

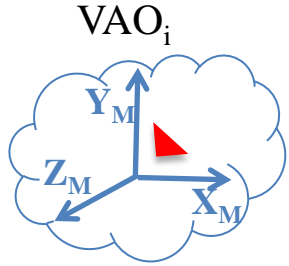
- Realisme: Eliminació de parts ocultes



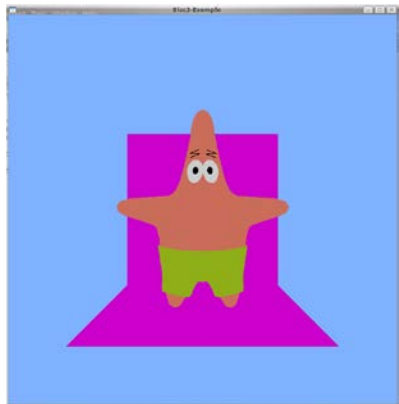
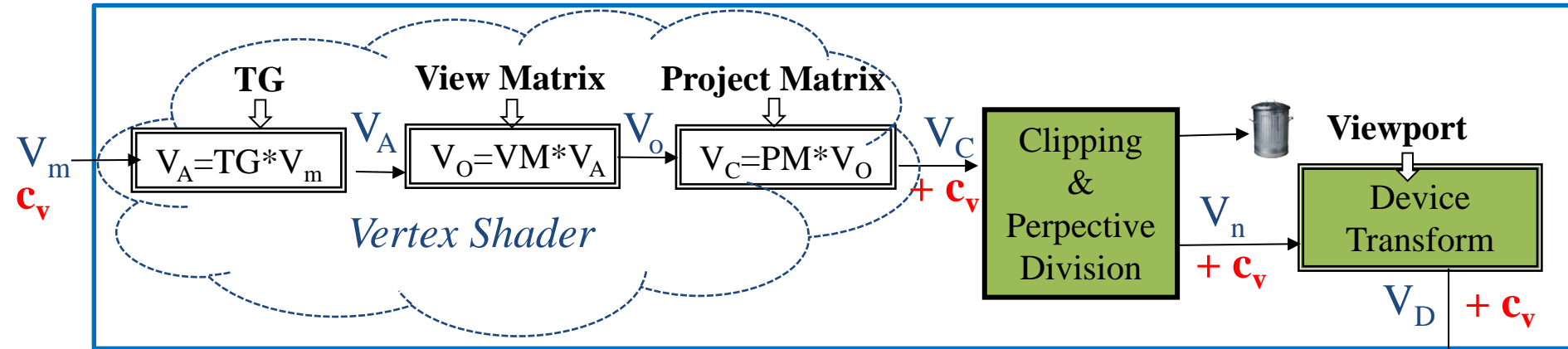
- Realisme: models d'il·luminació



# Procés de visualització(1)



Processament  
de vèrtexs



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

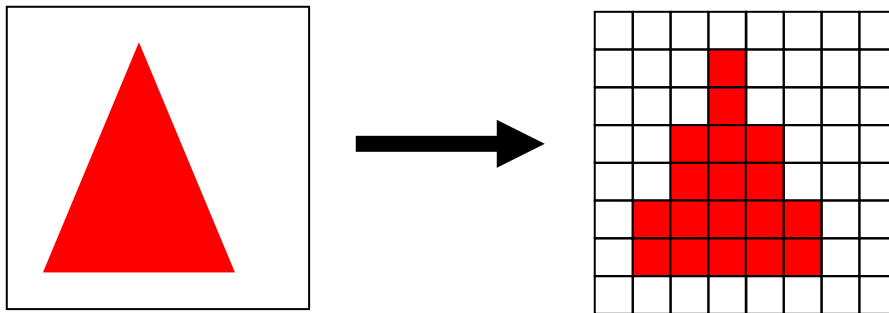
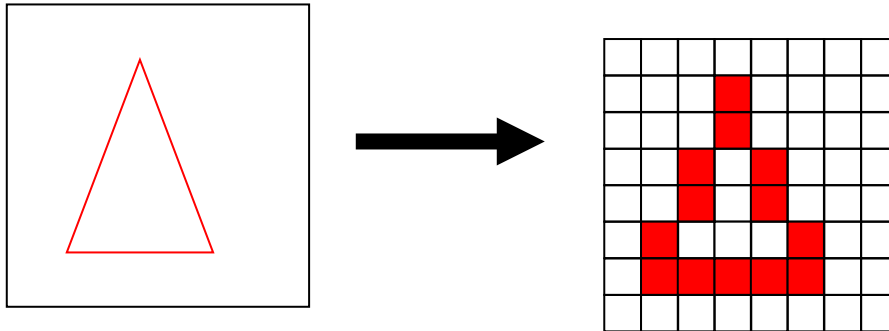
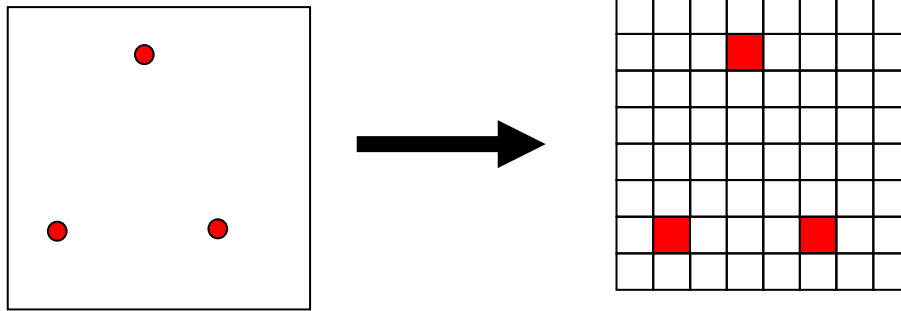
Processament de  
fragments

$\{(x_f, y_f, z_f)_D, cf\}$

Rasterització

# Algorismes de rasterització

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



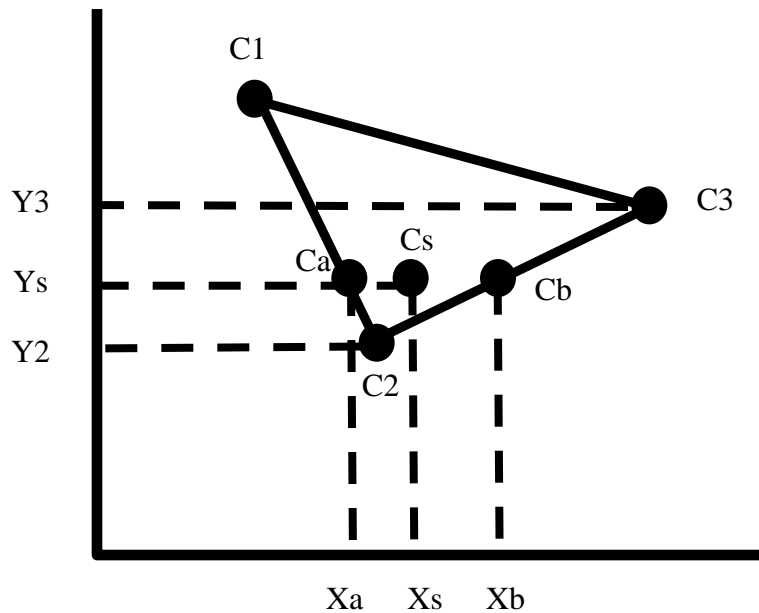
A diagram showing a vector  $V_D$  starting from a point. The vector is represented by a red line with an arrowhead pointing to the right. The starting point is marked with a red square. The vector is labeled  $V_D = (x_D, y_D, z_D) + c_v$ .

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

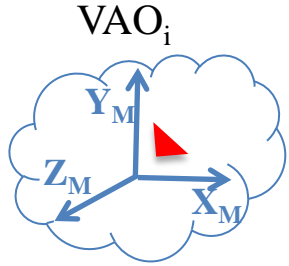


$$Ca = \frac{1}{Y1 - Y2} (C1(Ys - Y2) + C2(Y1 - Ys))$$

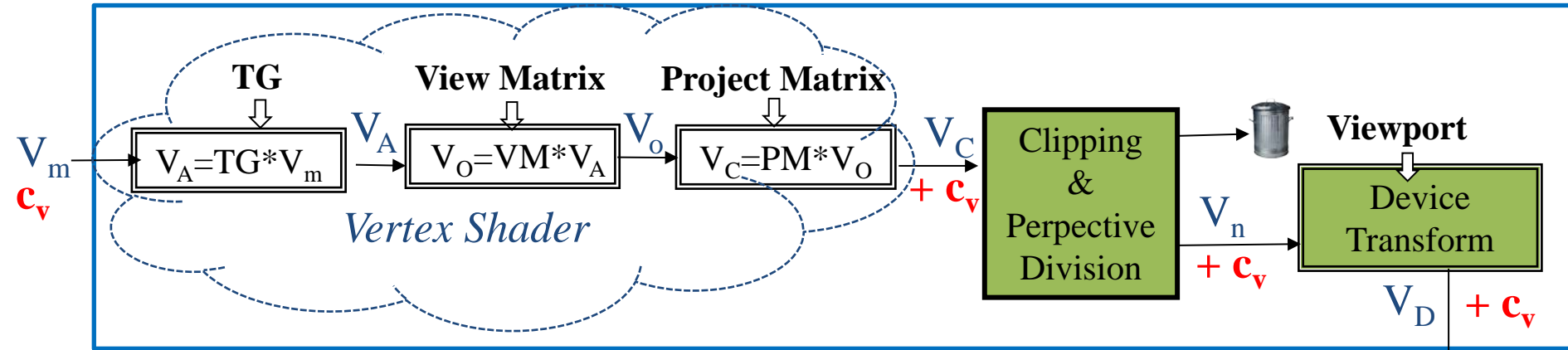
$$Cb = \frac{1}{Y3 - Y2} (C2(Y3 - Ys) + C3(Ys - Y2))$$

$$Cs = \frac{1}{Xb - Xa} (Ca(Xb - Xs) + Cb(Xs - Xa))$$

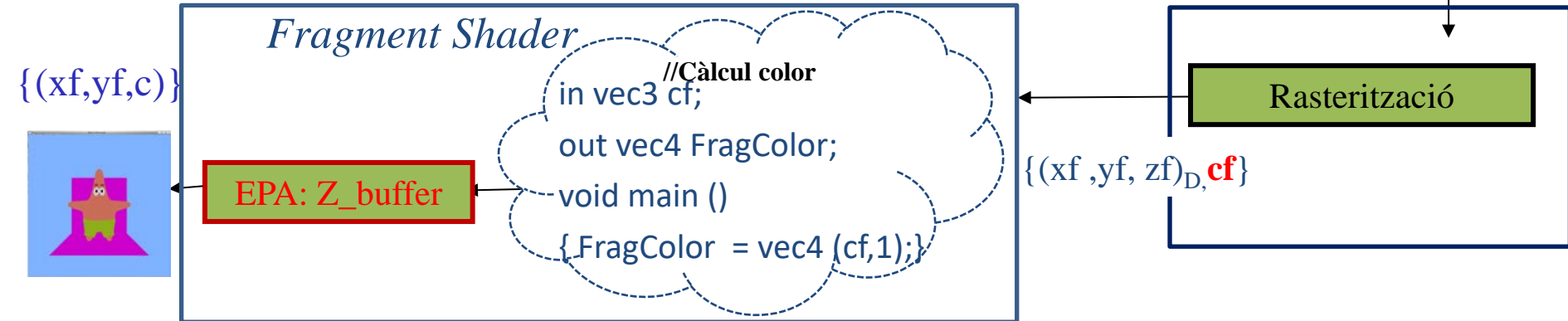
# Procés de visualització(2)



## Processament de vèrtexs



## Fragment Shader

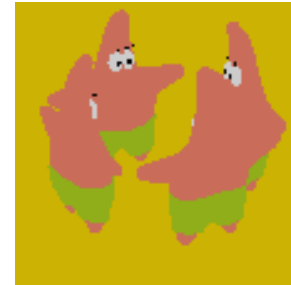


## Processament de fragments

## Rasterització

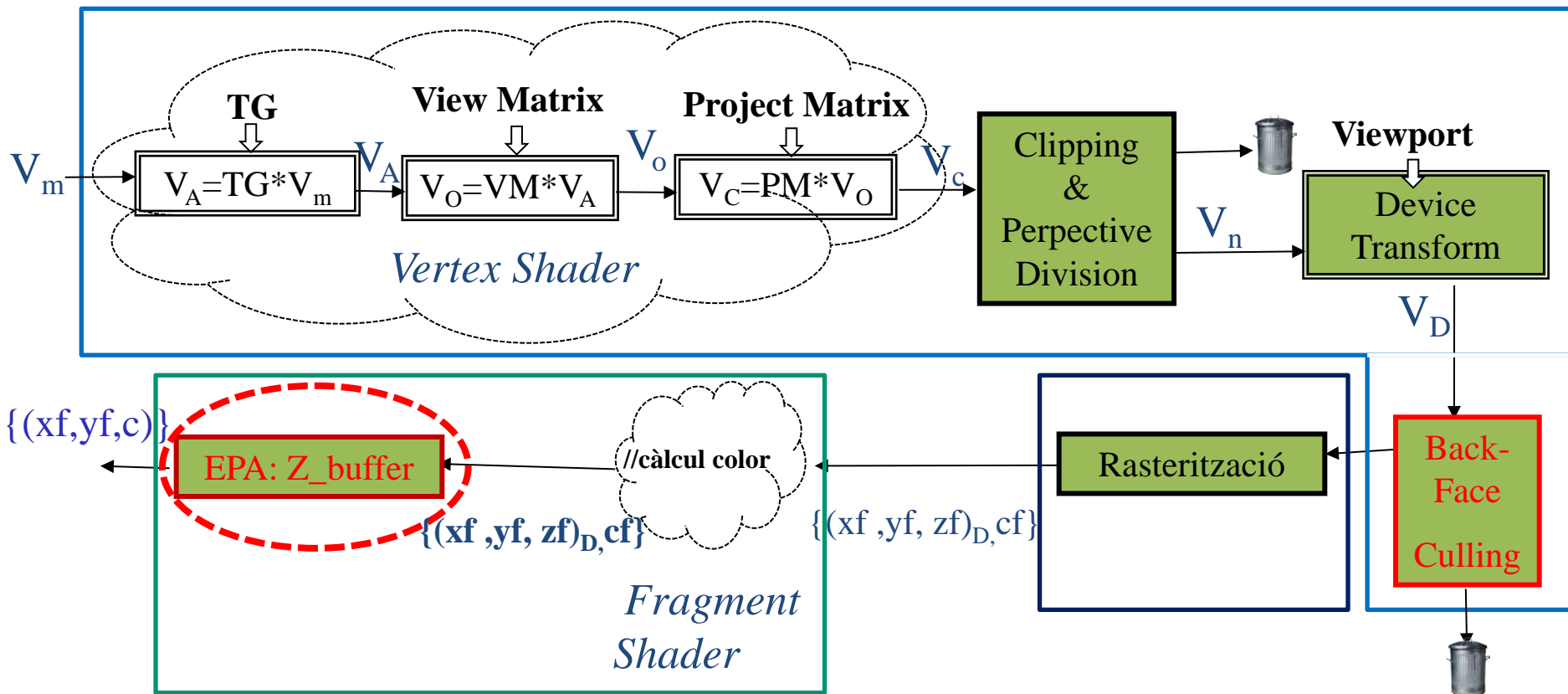
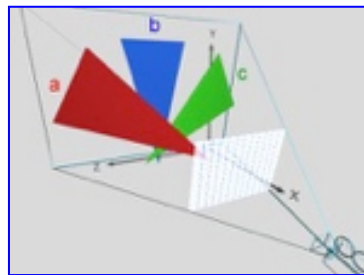
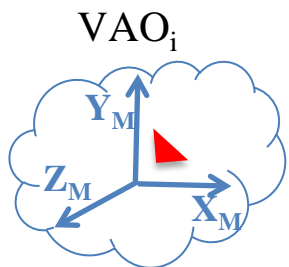
# Realisme (I)

- **Realisme: Eliminació de parts ocultes**
  - 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

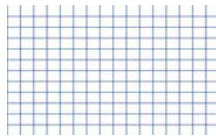
Buffer color (frame\_buffer)

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

Buffer profunditats (depth\_buffer)

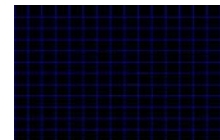
$z \in [0, 2^{n_z} - 1]$

1. Inicialitzar al color de fons

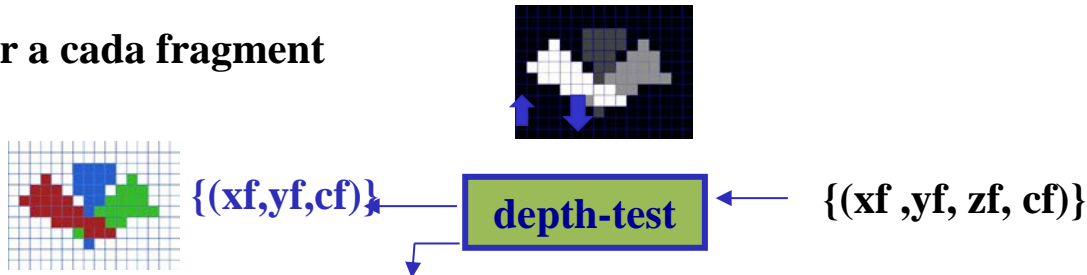


`glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT)`

1. Inicialitzar al més lluny possible

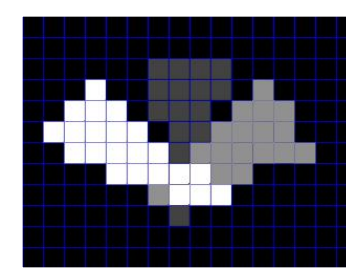
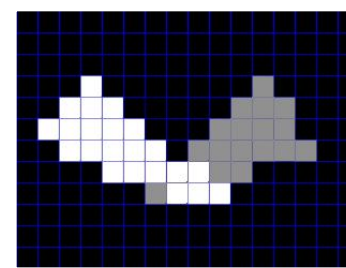
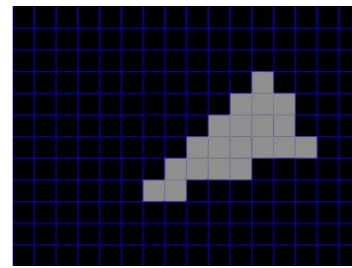
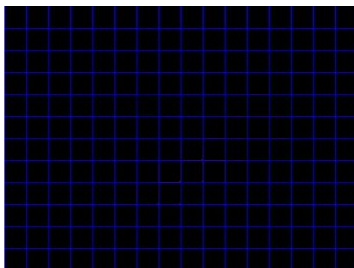
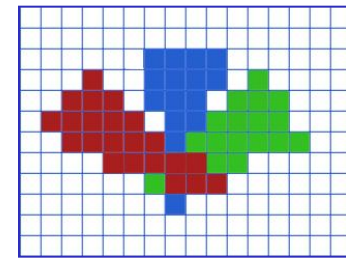
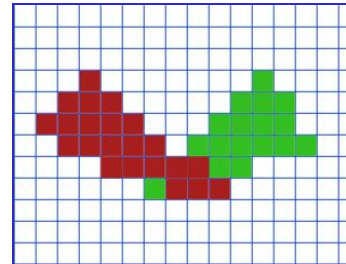
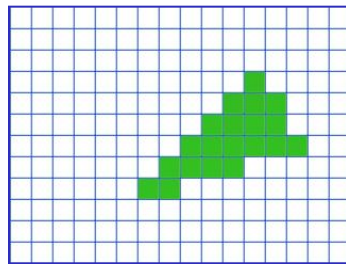
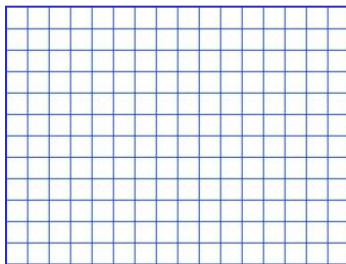
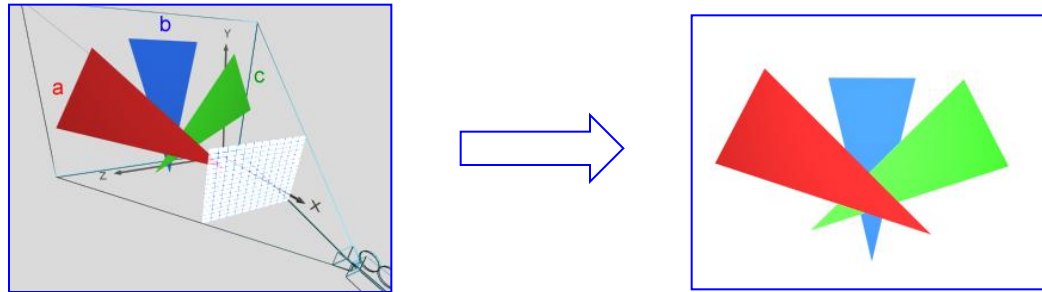


2. Per a cada fragment

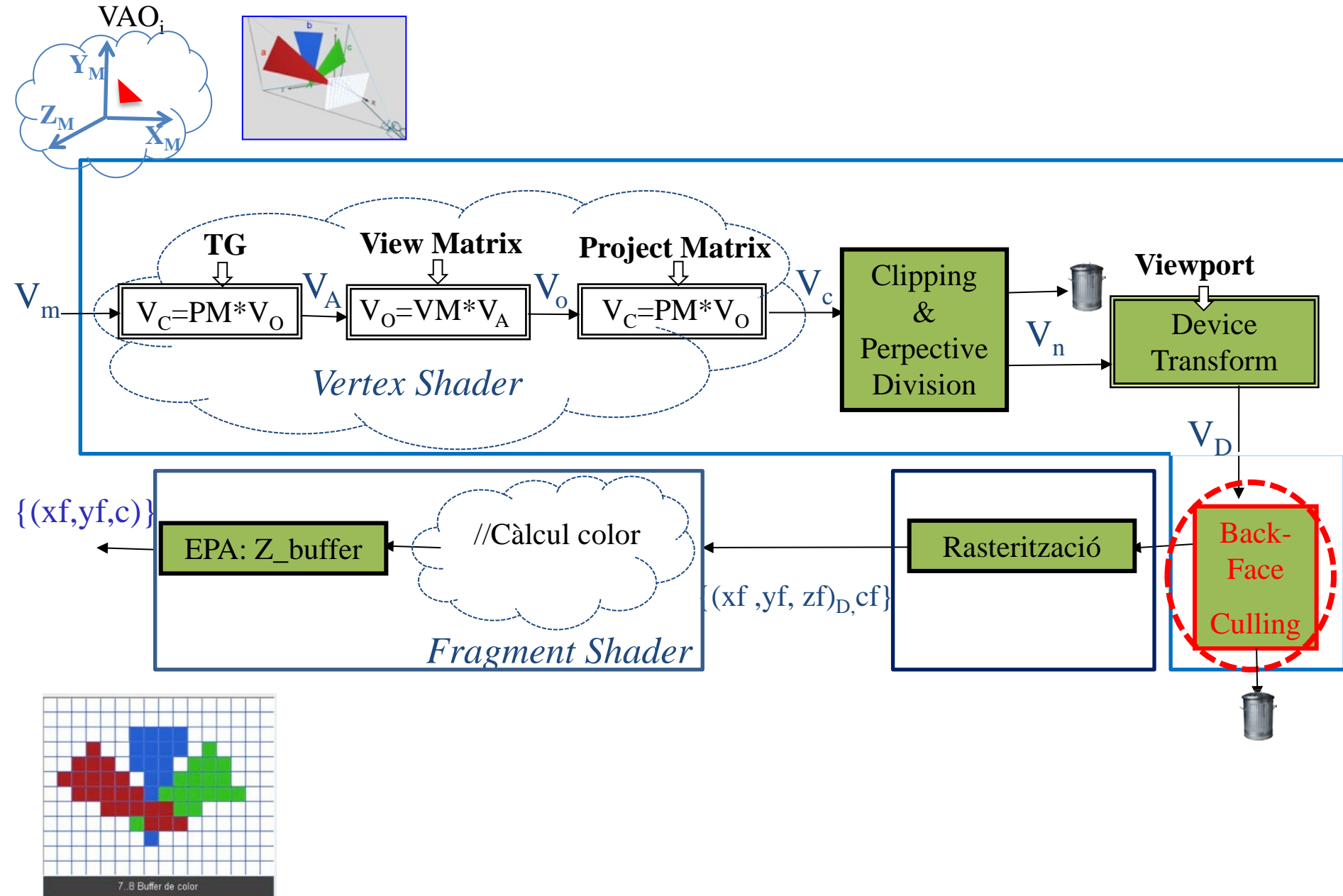


```
if (zf < depth_buffer[xf,yf]) {  
    depth_buffer [xf,yf] = zf;  
    color_buffer [xf,yf] = cf;  
}
```

# Depth Buffer (z-buffer)

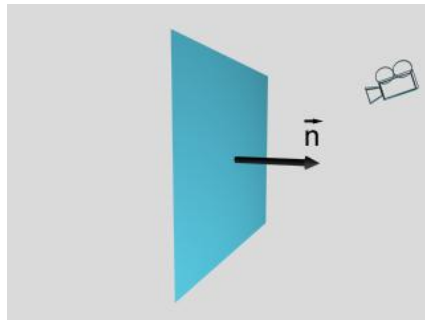


# Procés de visualització: EPA (2)

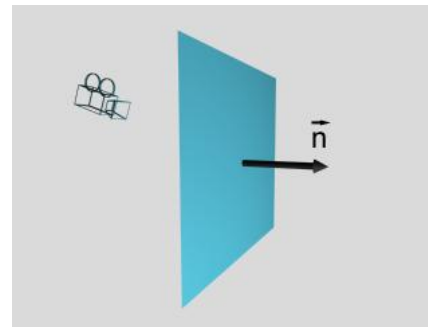


# Back-face Culling

- 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)

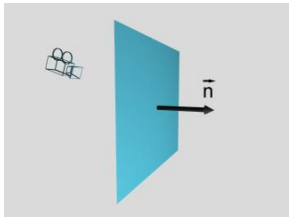
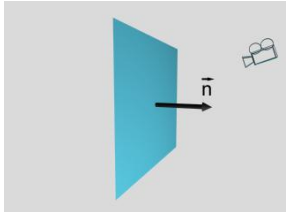


visible

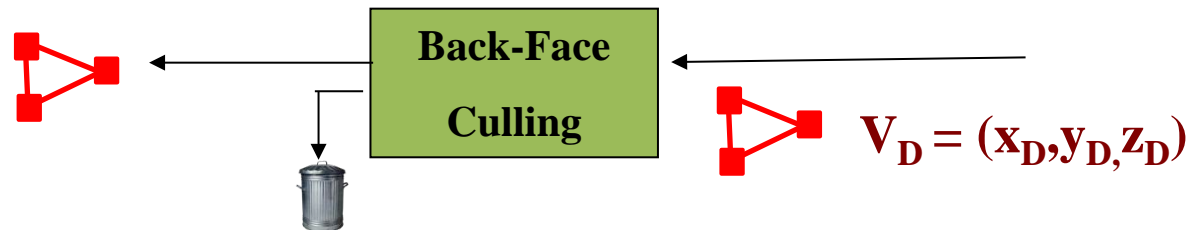


no visible

# Back-face Culling

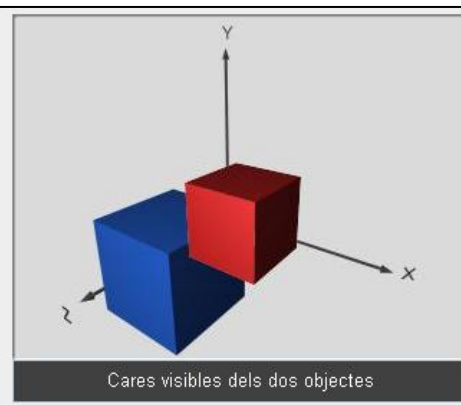
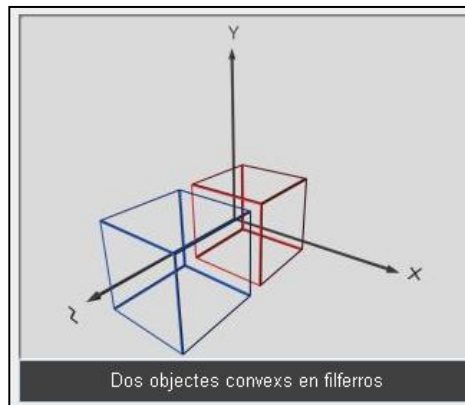
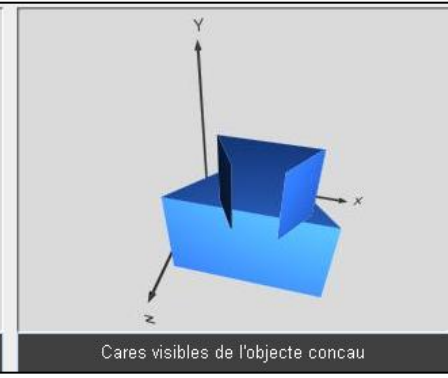
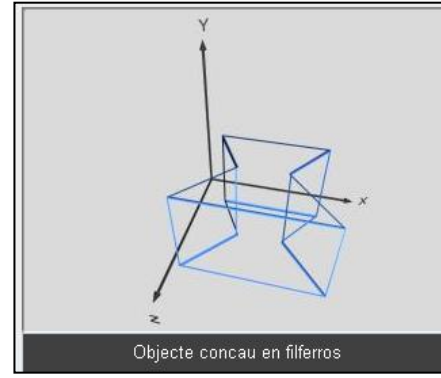
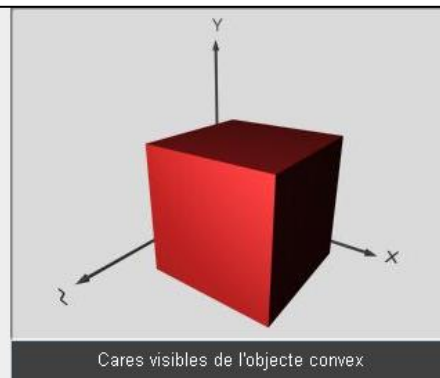
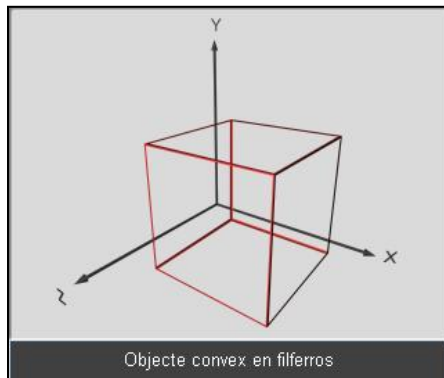


- OpenGL fa el càlcul en coord. dispositiu
  - direcció de visió  $(0,0,-1)$
  - visibles les cares amb  $n_z > 0$  (ordenació vèrtexs antihorari)
  - el càlcul de la normal de la cara el fa OpenGL a partir dels vèrtexs en coordenades de dispositiu => **importància ordenació vèrtexs.**



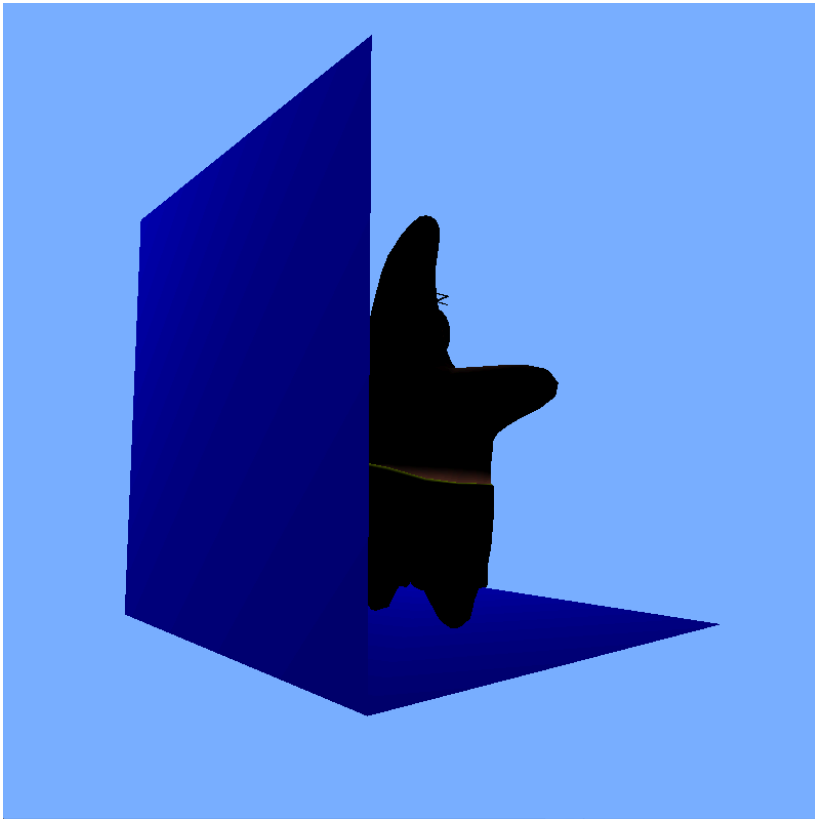
# Back-face Culling

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

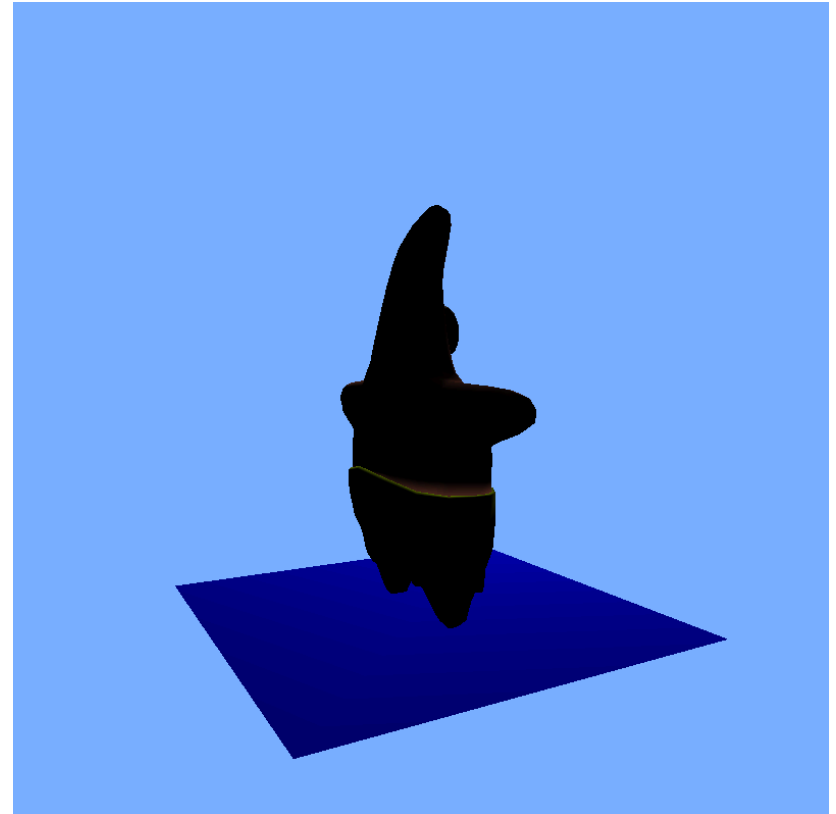


# Exemple que podreu comprovar al laboratori

Sense back-face culling



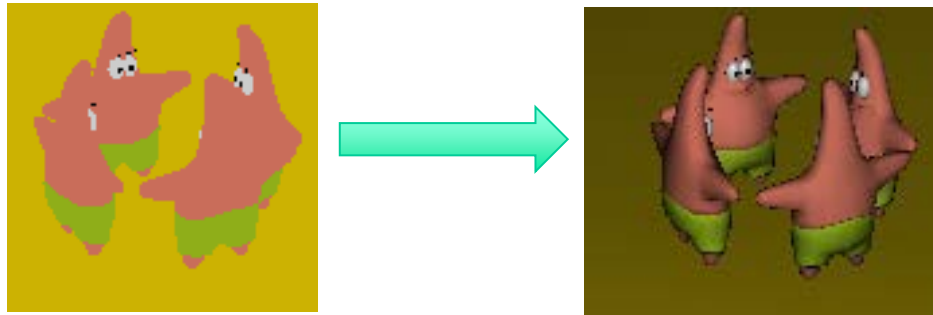
Amb back-face culling



```
glEnable (GL_CULL_FACE);
```

# Realisme (I)

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

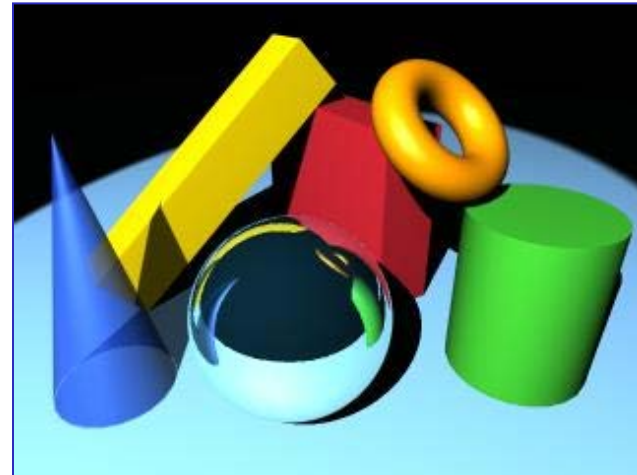


**Bibliografia: capítol EPA&Il·luminació del llibre multimèdia**



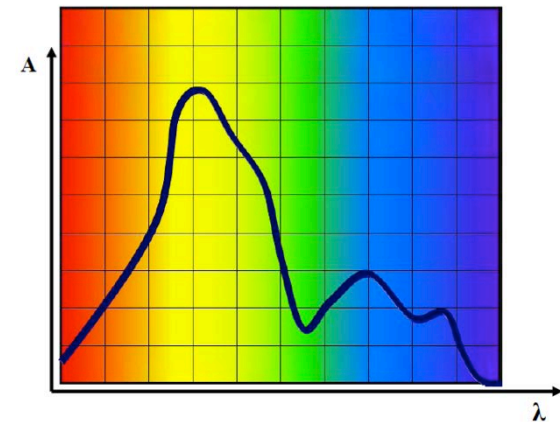
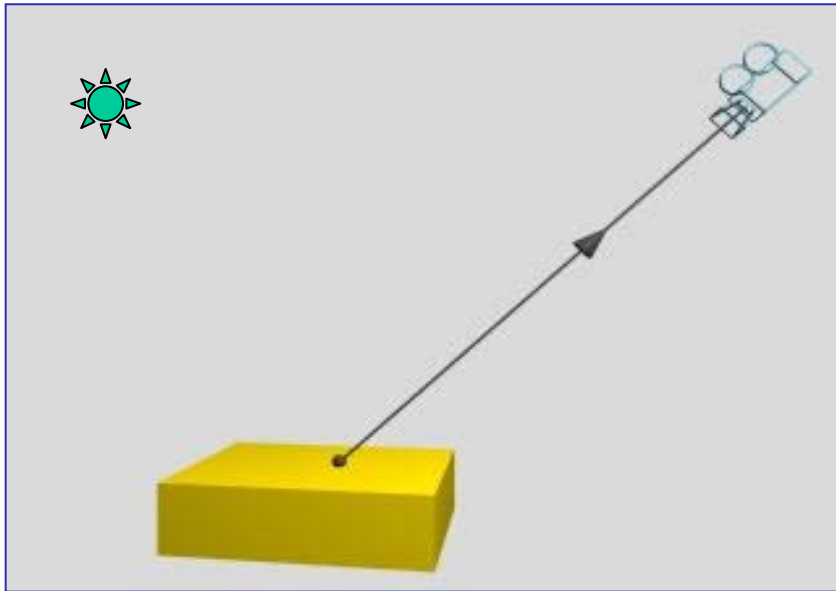
# Introducció

- 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:  $I_\lambda(P \rightarrow Obs)$

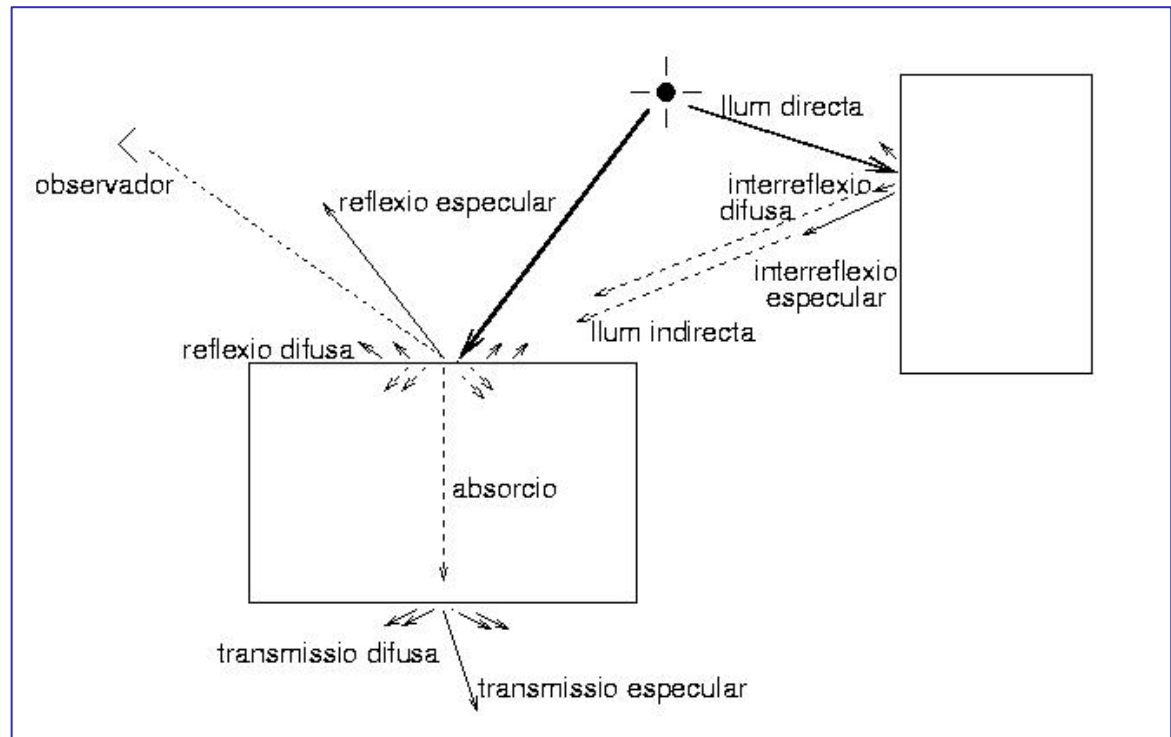


$$I_\lambda(P \rightarrow Obs) \quad \lambda \in \{r, g, b\}$$

# 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



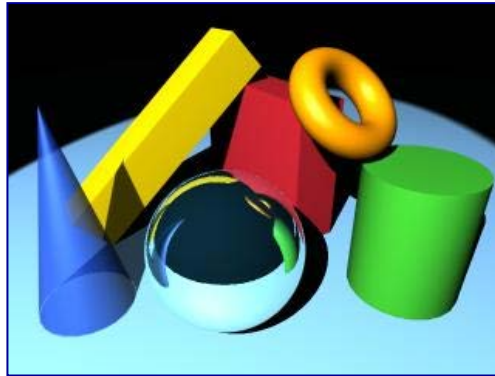
# Models d'il·luminació

- 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



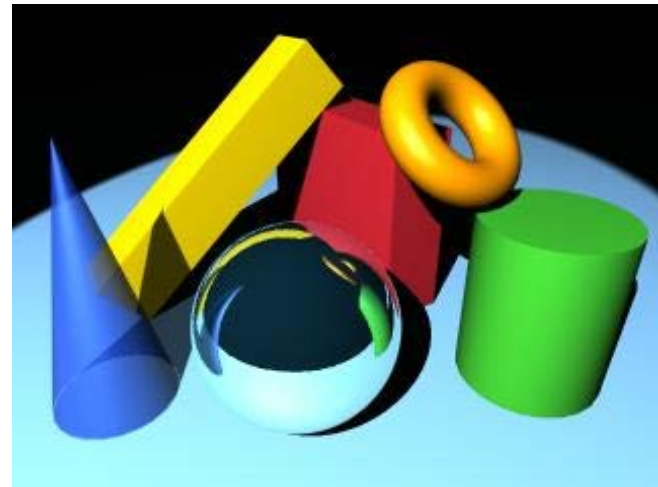
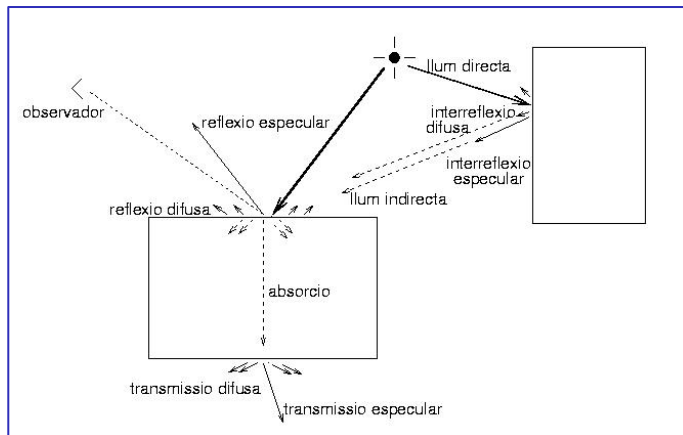
# Models locals o empírics

- 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.



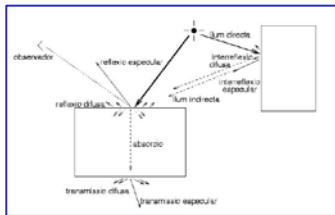
# Models de traçat de raig

- 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 ocultes
  - 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

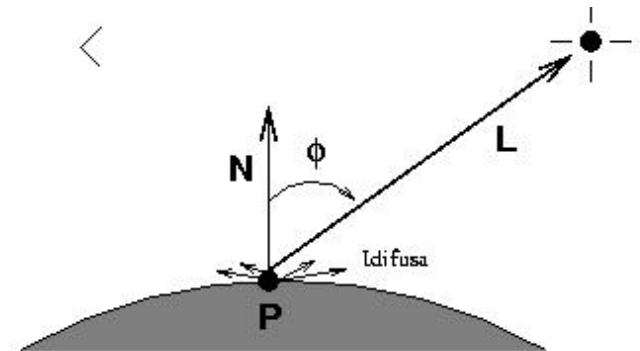


# Model empíric difús (Lambert)

- 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**.

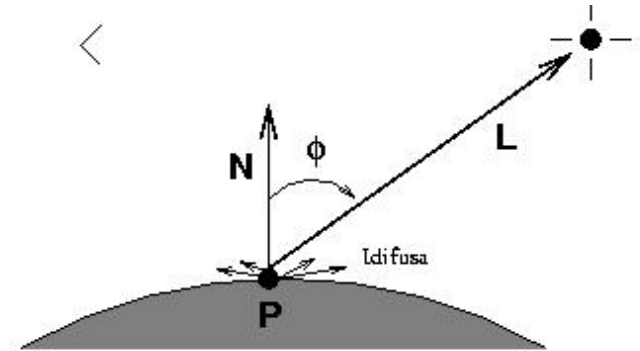
*Pot calcular-se com el producte escalar entre **N** i **L** si estan normalitzats.*



# Model empíric difús (Lambert)

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

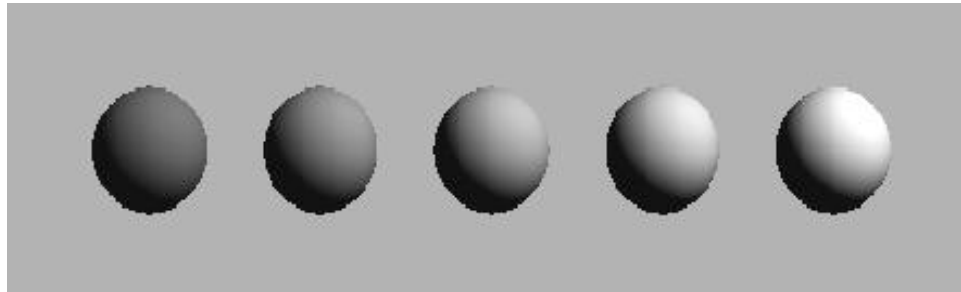
si  $|\Phi| < 90^\circ$



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



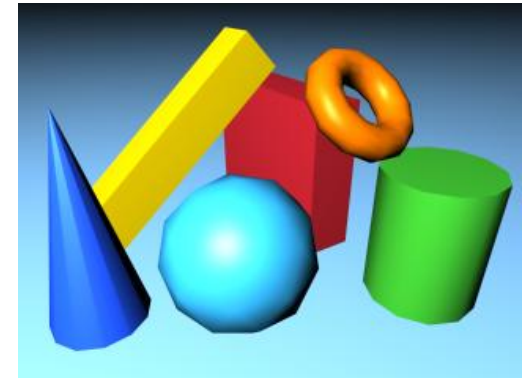
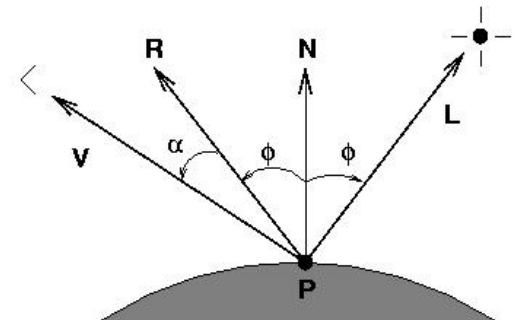
# Model empíric especular (Phong)

- 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  $|\Phi| < 90^\circ$*

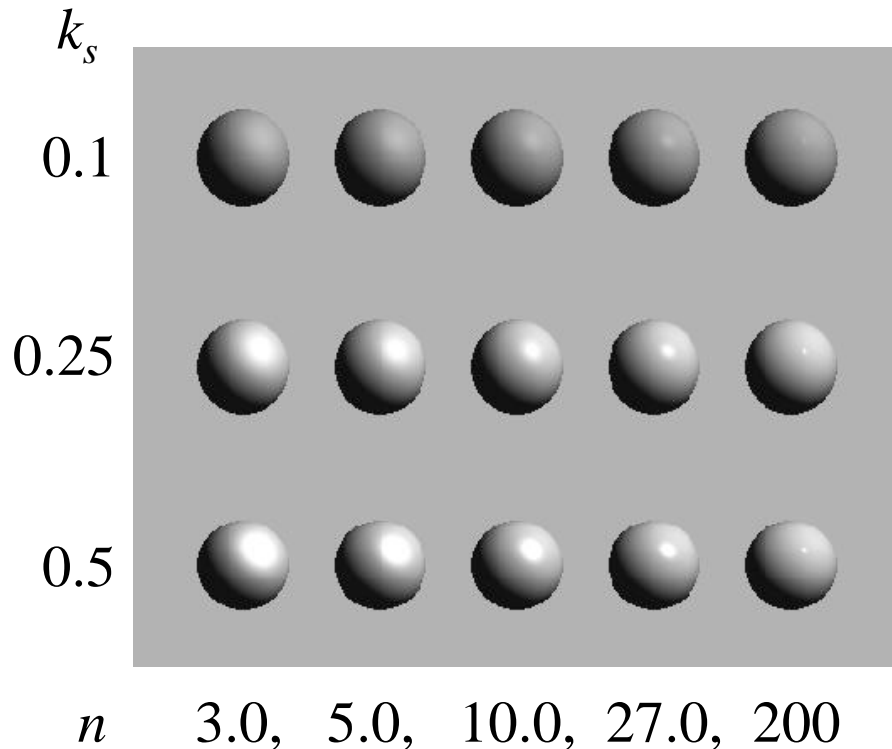
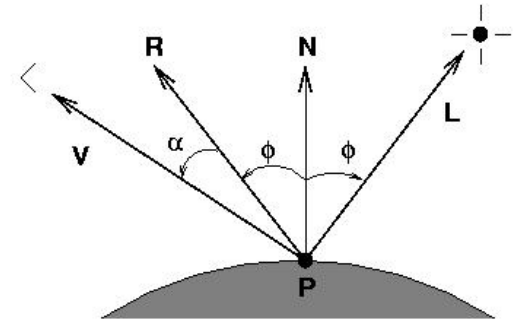
- $I_{f\lambda}$  : color (r,g,b) del focus puntual f
- $k_{s\lambda}$  : coef. de reflexió especular (x,x,x)
- n : exponent de reflexió especular
- **v** és vector normalitzat que uneix punt amb Obs



# 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

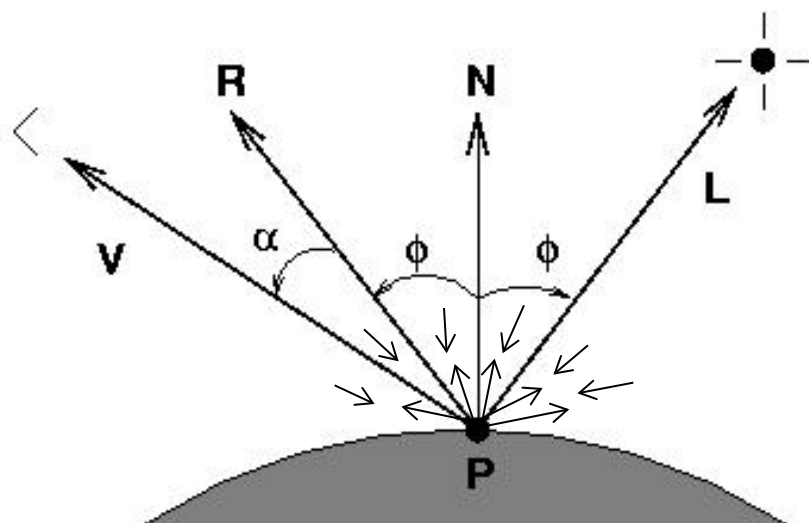
# Resum

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	

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



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



# 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?

## **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...**