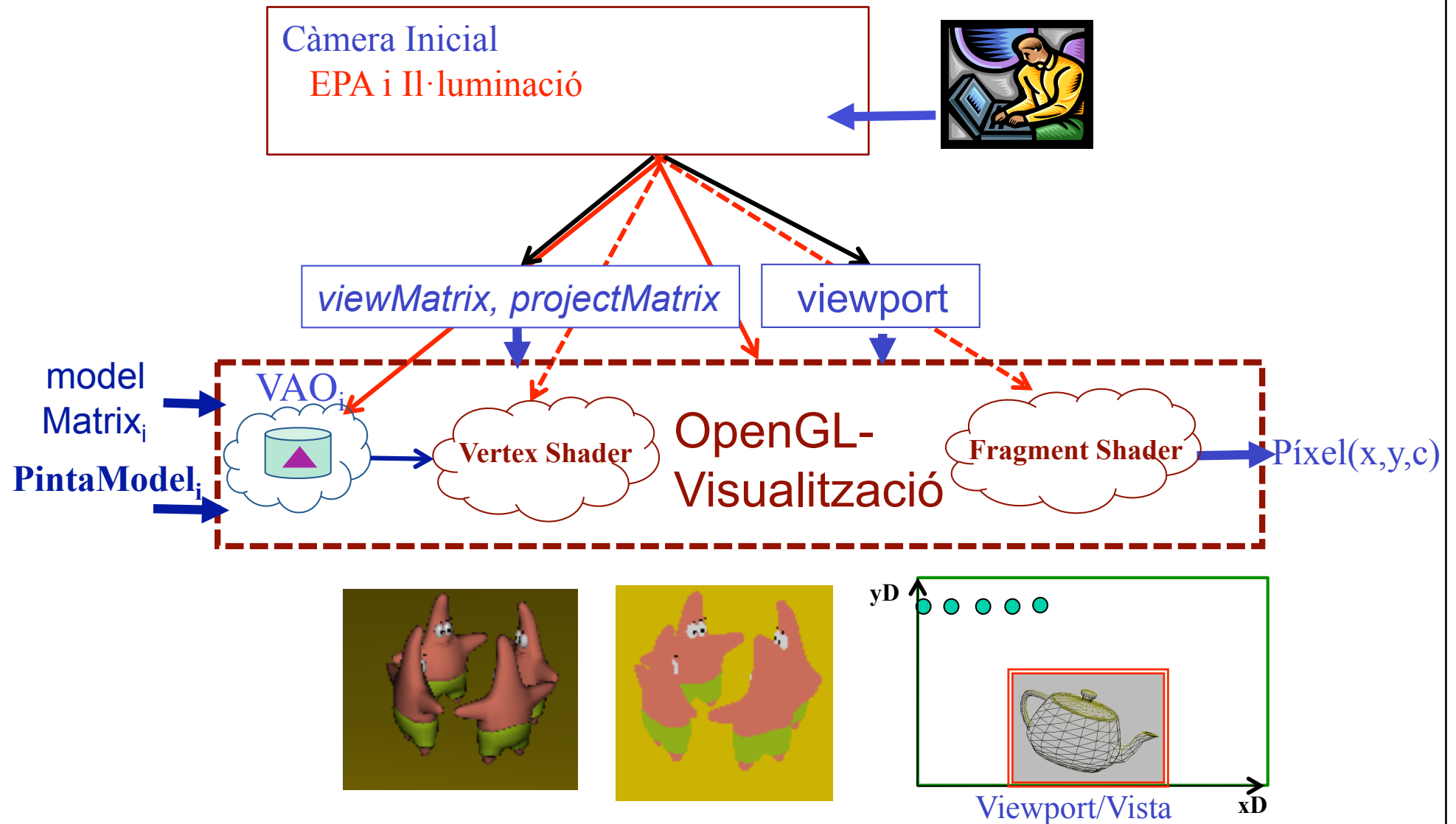


# Classe 6: contingut

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

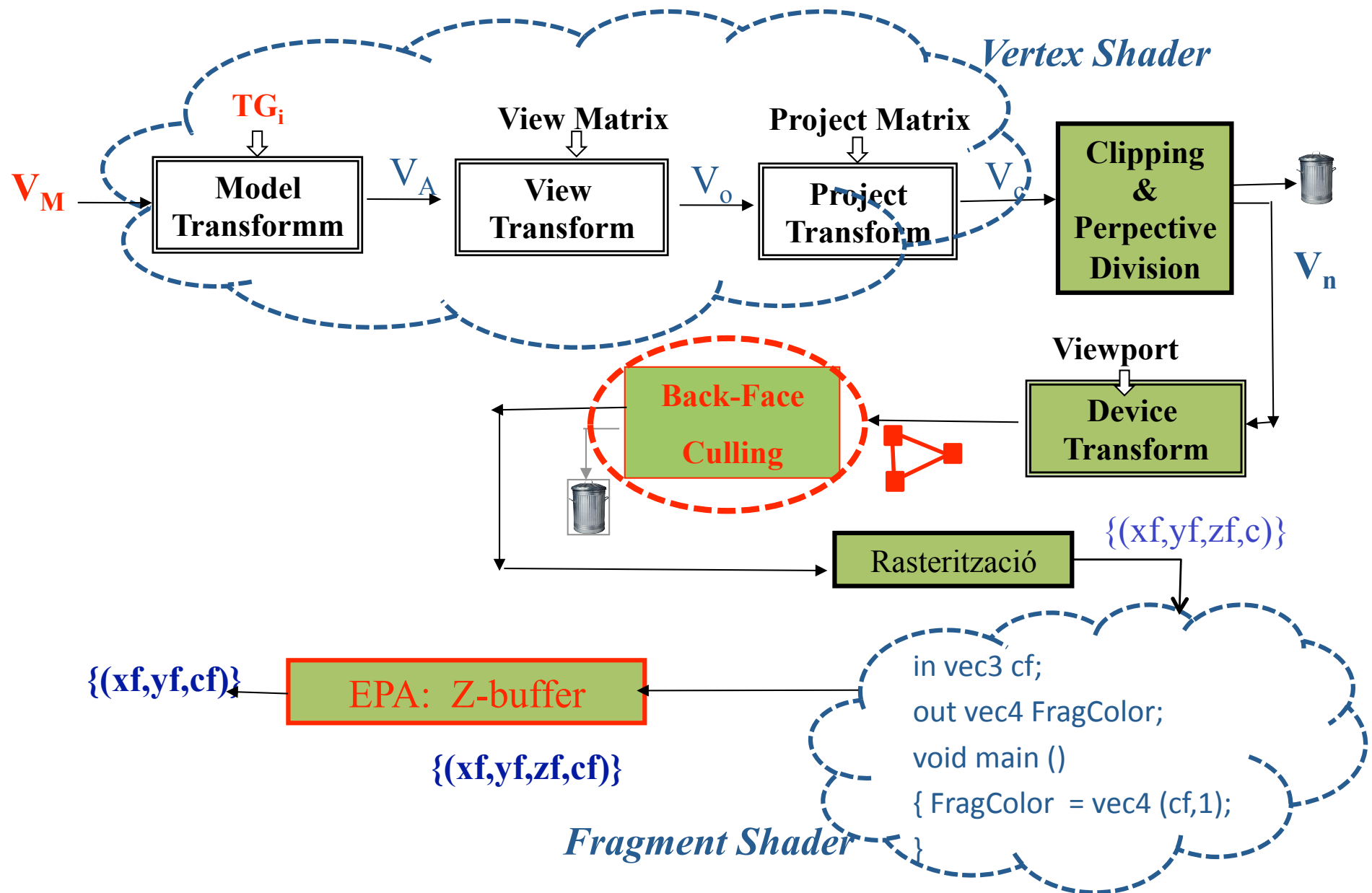
# Camera i procés de visualització



# Classe 6: contingut

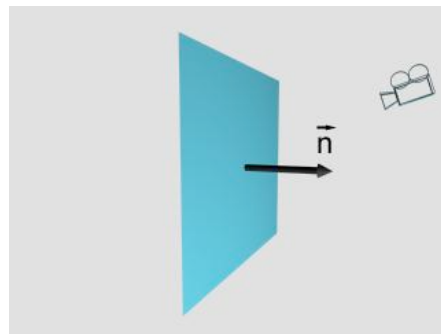
- **Realisme: Eliminació de parts ocultes.**
  - Back-face culling
  - Depth-buffer
- **Realisme: Il·luminació (1)**
  - Càlcul del color en un punt
  - Models d'il·luminació empírics

# Paradigma projectiu bàsic amb OpenGL 3.3

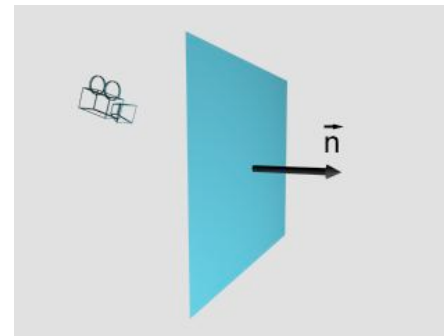


# Back-face Culling

- 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)

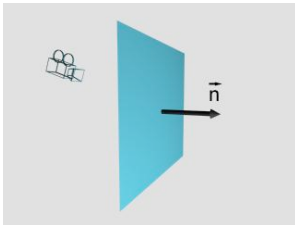
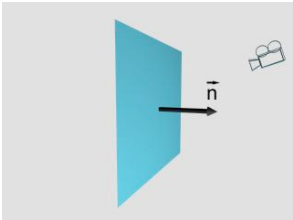


**visible**

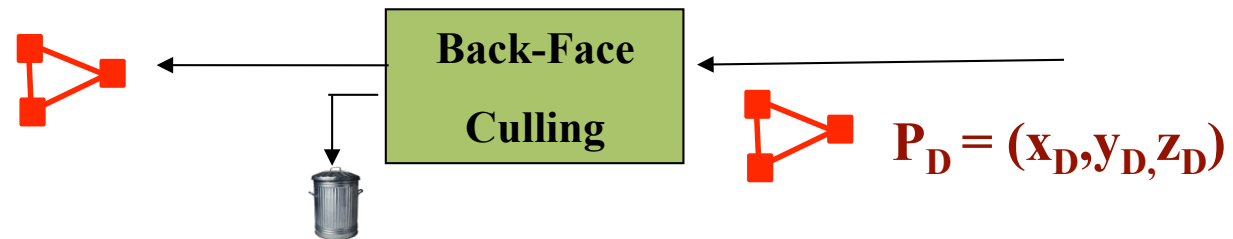


**no visible**

# Back-face Culling

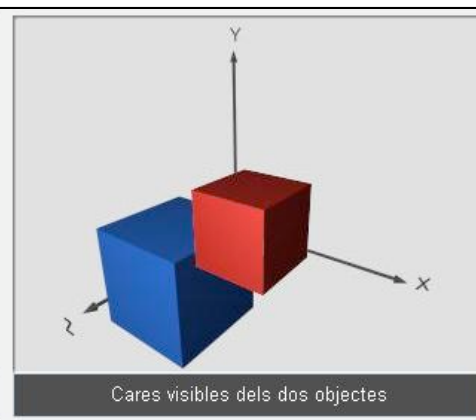
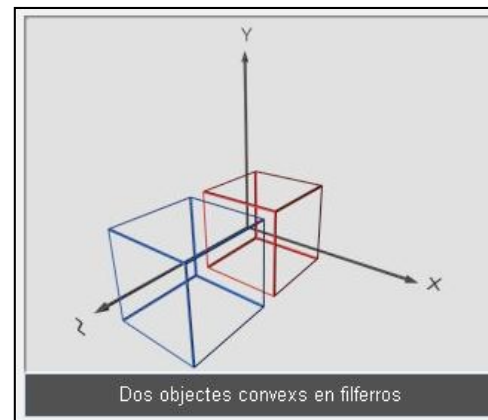
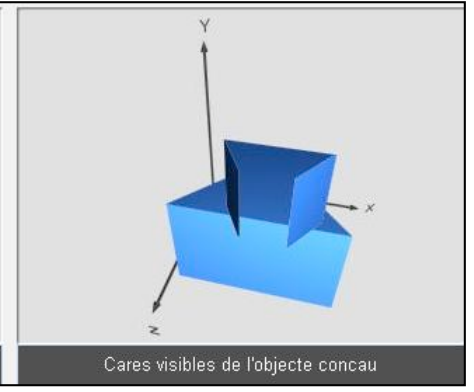
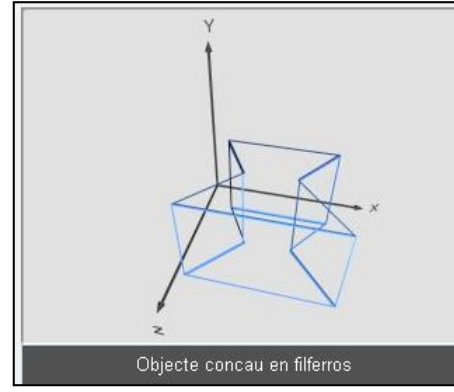
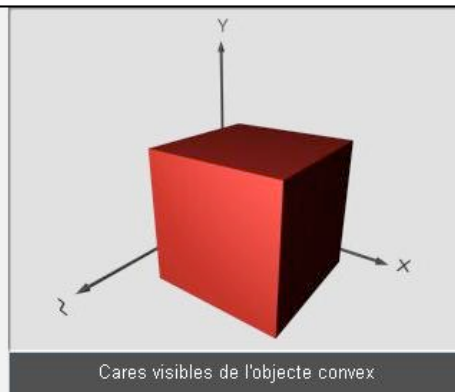
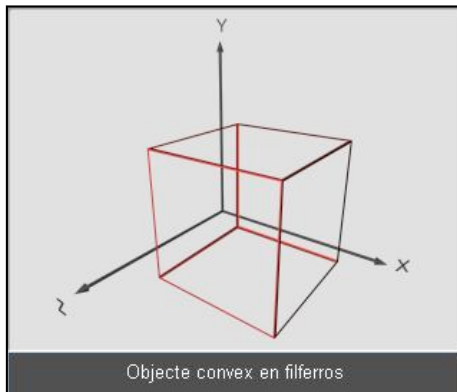


- OpenGL fa el càlcul en coord. dispositiu
  - direcció de visió  $(0,0,-1)$
  - visibles les cares amb  $n_z > 0$  (ordenació vèrtexs antihorari)
  - el càlcul de la normal de la cara el fa OpenGL a partir dels vèrtexs en coordenades de dispositiu.



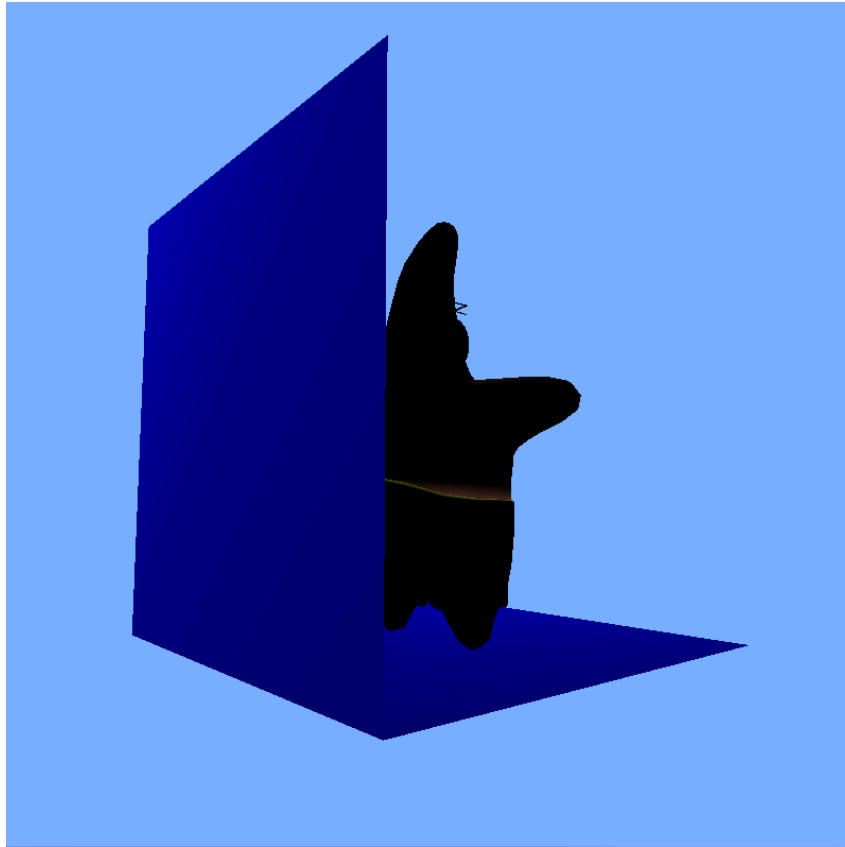
# Back-face Culling

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

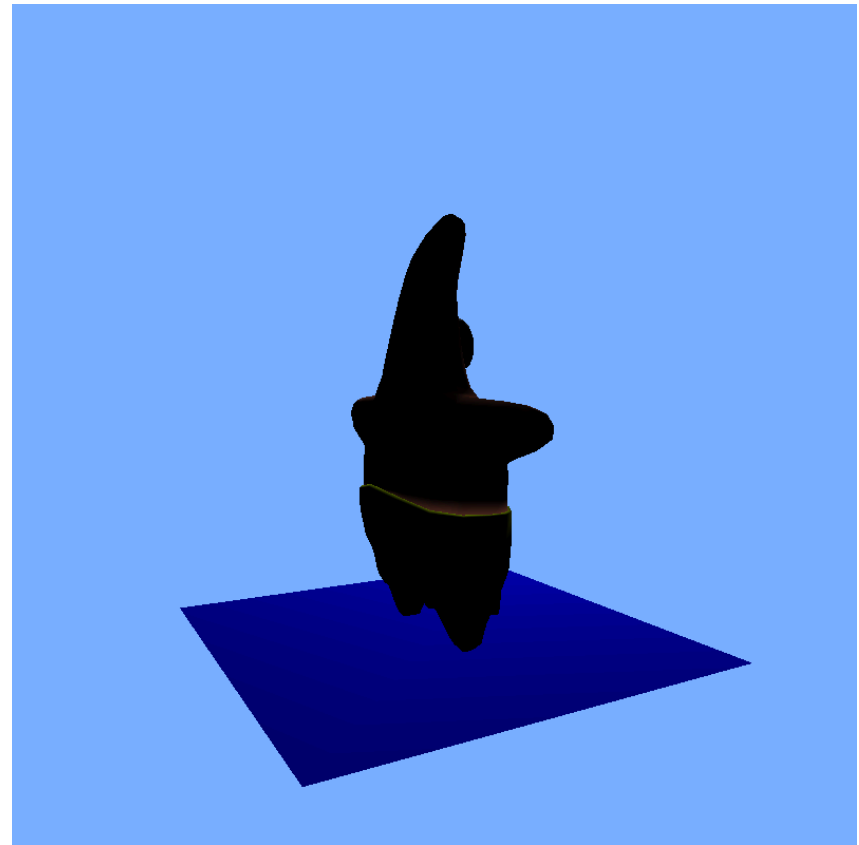


# Imatges que podreu comprovar al laboratori

Sense culling

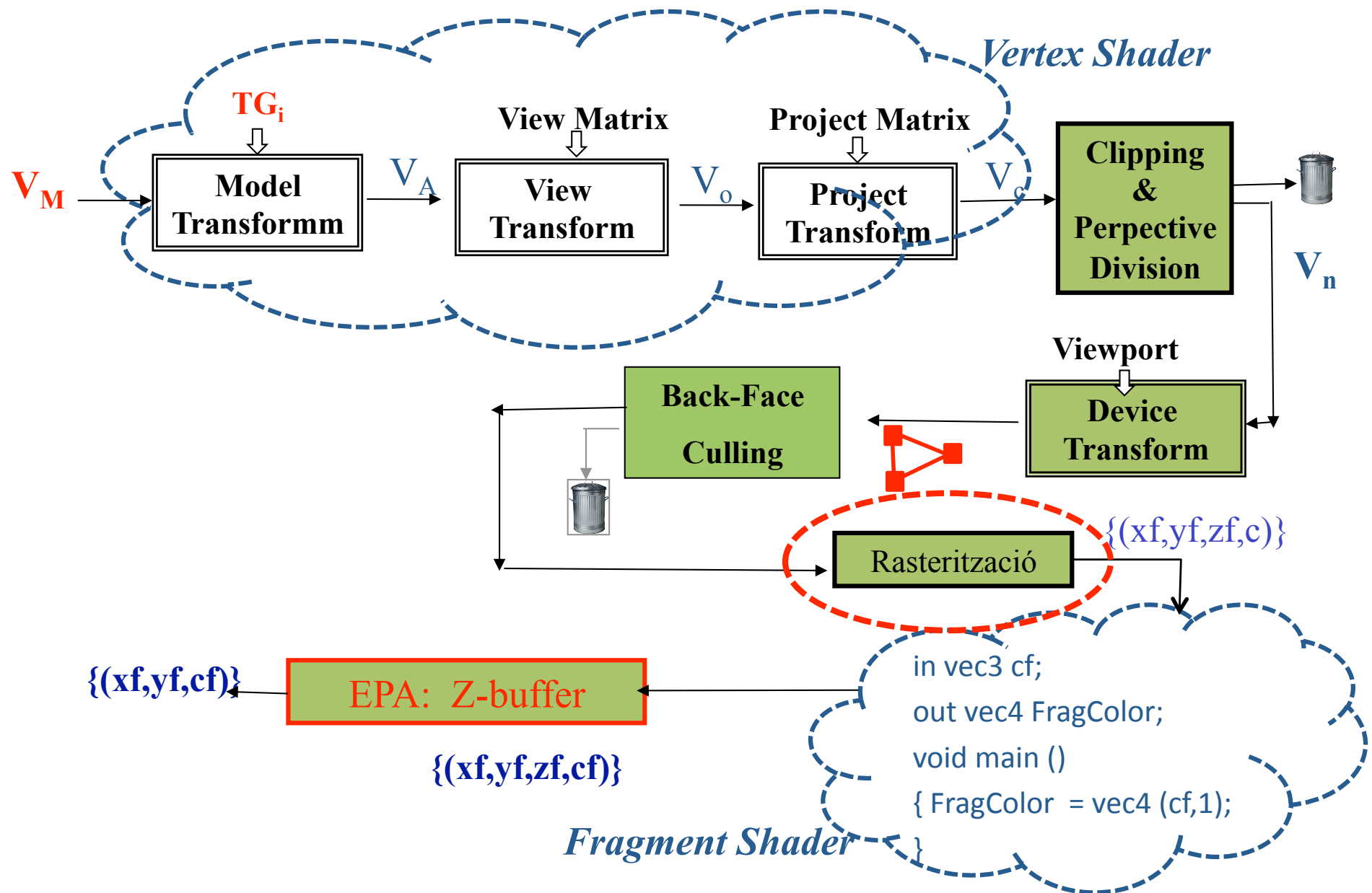


Amb culling



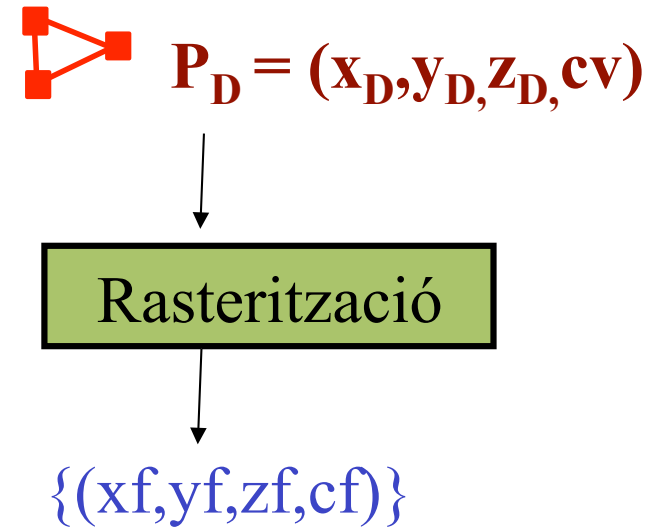
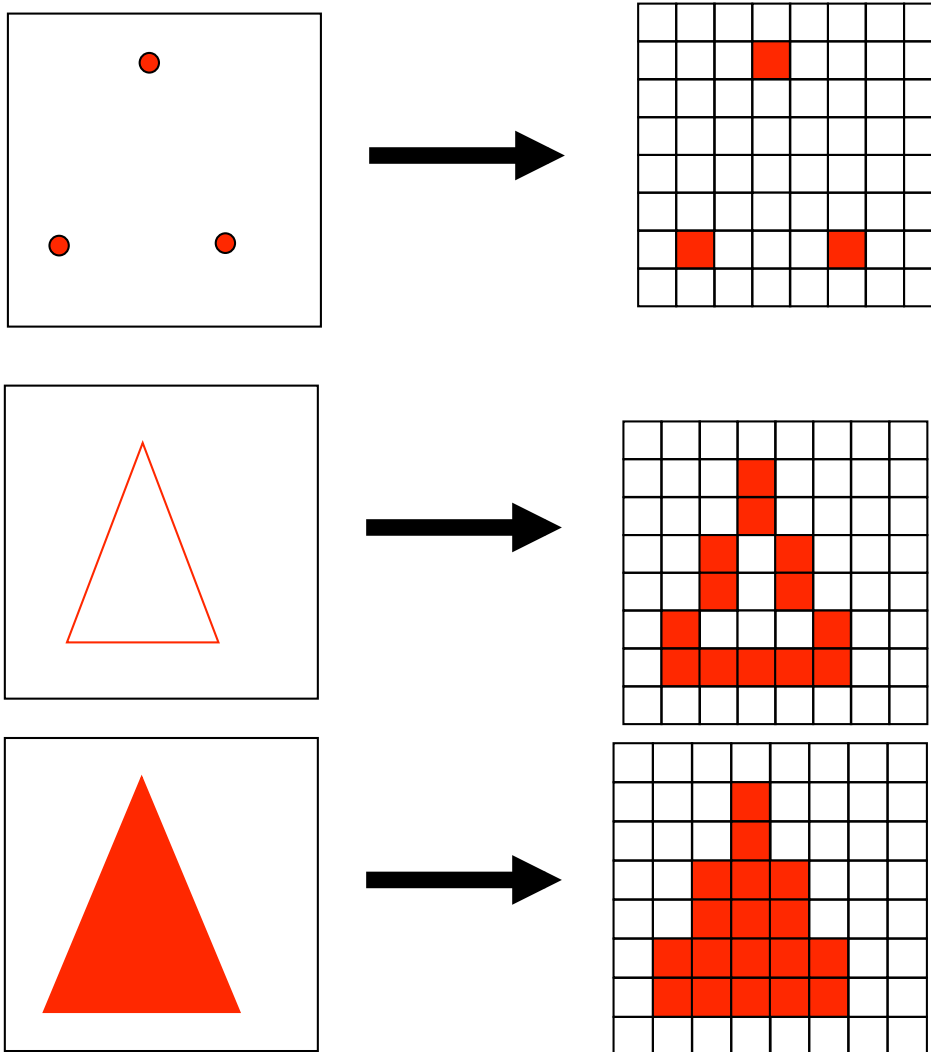


# Paradigma projectiu bàsic amb OpenGL 3.3



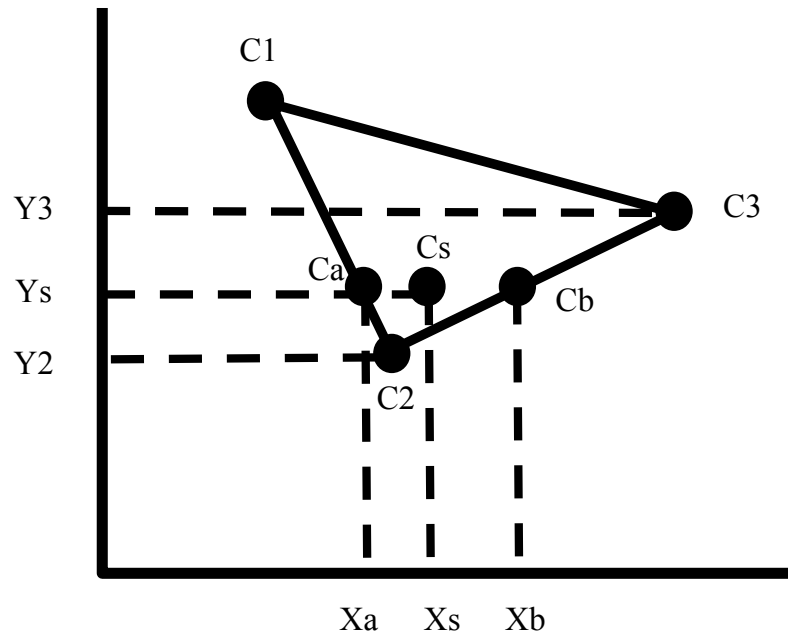
# Algorismes de rasterització

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



# Shading (colorat) de polígons

- Colorat Constant  $\equiv$  Flat shading  $\rightarrow C_f = C_1$   
*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

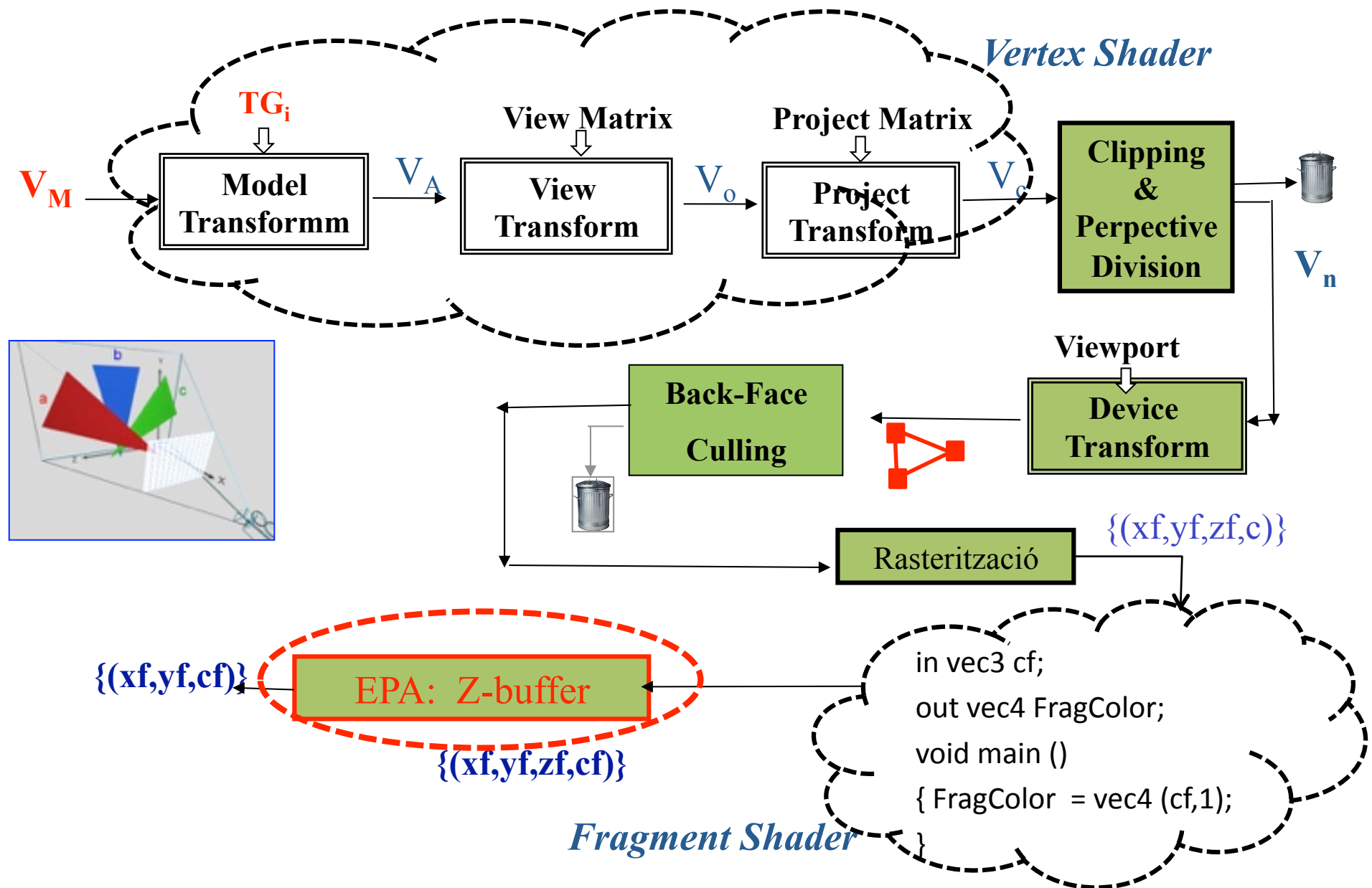


$$C_a = \frac{1}{Y_1 - Y_2} (C_1(Y_s - Y_2) + C_2(Y_1 - Y_s))$$

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

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

# Paradigma projectiu bàsic amb OpenGL 3.3



# Depth Buffer

- Mètode EPA en espai imatge (*a nivell de píxel/fragment*)
- Després de la **rasterització**
- No requereix tenir el Back-face culling activat
- 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

# Depth Buffer (z-buffer)

- Dos buffers de la mateixa resolució que la pantalla

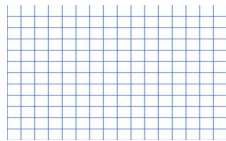
Buffer color (frame\_buffer)

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

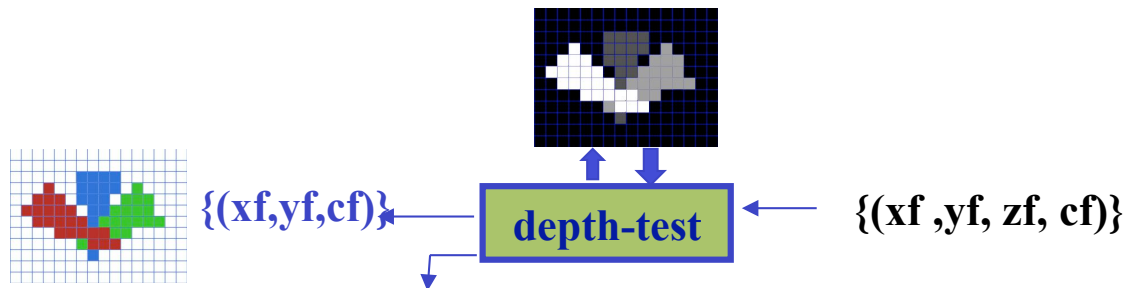
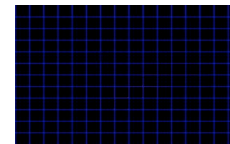
Buffer profunditats (depth\_buffer)

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

1. Inicialitzar al color de fons

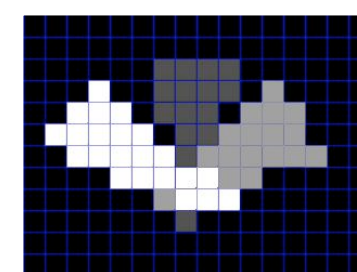
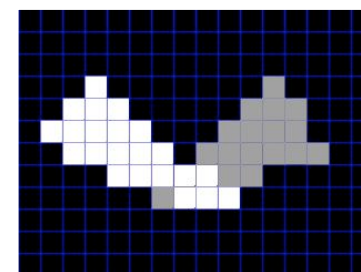
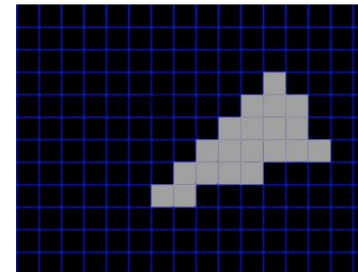
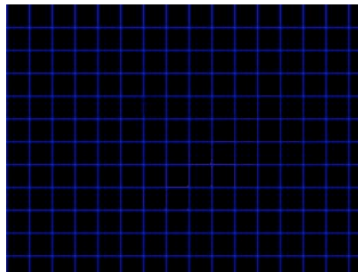
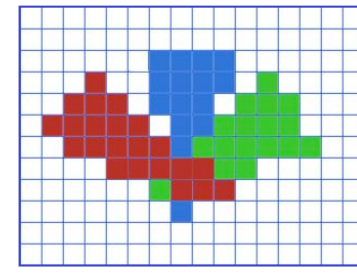
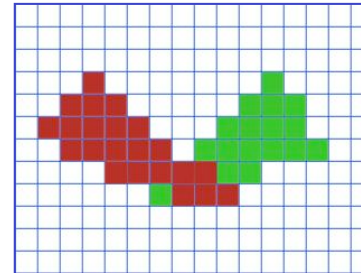
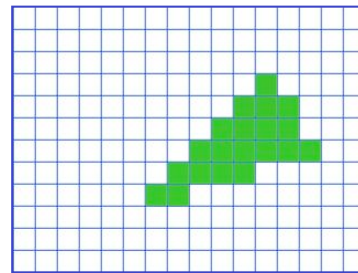
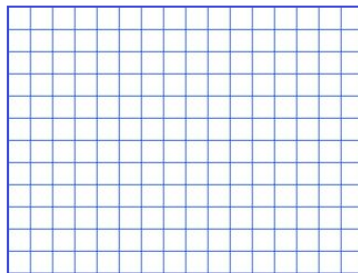
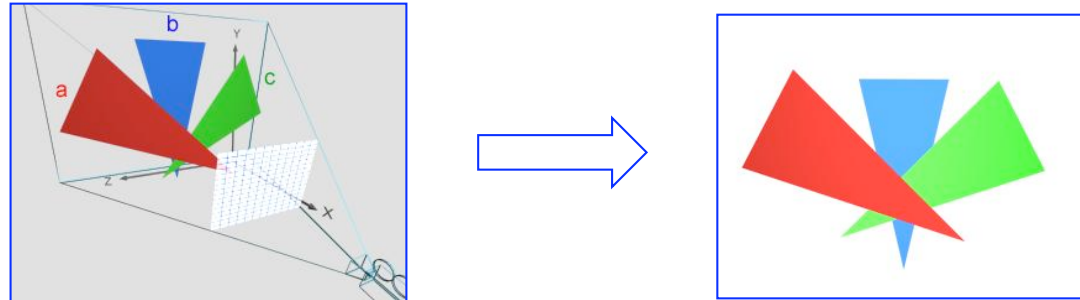


1. Inicialitzar al més lluny possible

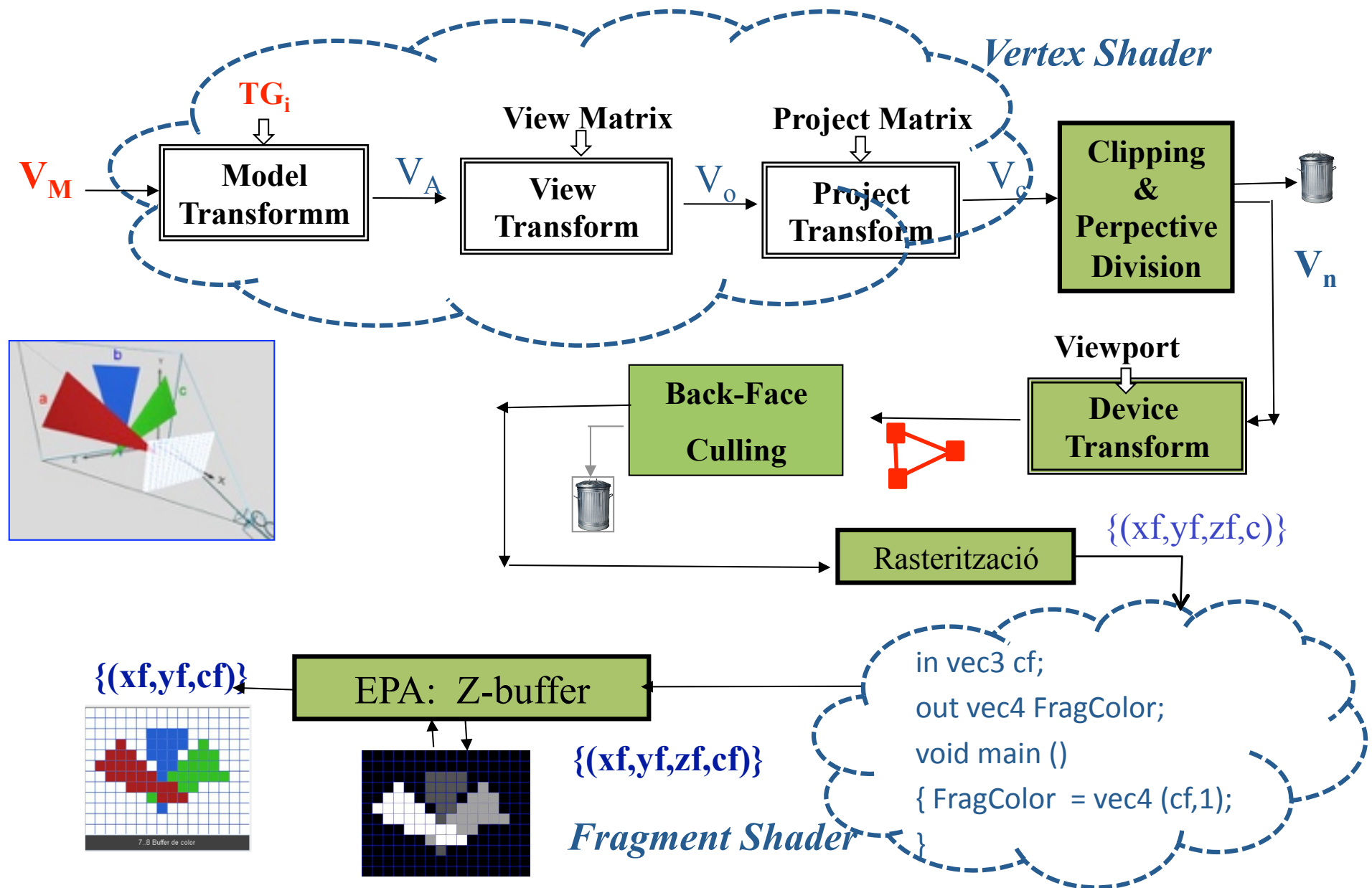


```
if (zf < depth_buffer[xf,yf]) {  
    depth_buffer [xf,yf] = zf;  
    color_buffer [xf,yf] = cf;  
}
```

# Depth Buffer (z-buffer)



# Paradigma projectiu bàsic amb OpenGL 3.3





```

glEnable (GL_CULL_FACE);
glEnable (GL_DEPTH_TEST);
// definir càmera;
VM= lookAt(OBS,VRP,UP);
viewMatrix(VM);
TP= perspective (FOV, ra, zN,ZF);
projectMatrix(TP);
glViewport (0,0,w,h);
....
glClear(GL_COLOR... |
      GL_DEPTH...);
per cada objecte
    //Calcul TGi i passar a OpenGL;
    Model_Matrix (TGi);
    pinta_model();
fper

```

```

in vec3 vertex, color;
out vec3 cv;
uniform mat4 TG, VM, TP;
void main ()
{ gl_Position= TP*VM*TG*vec4(vertex,1.0);
  cv=color;
}

```

```

in vec3 cv;
out vec4 FragColor;
void main ()
{ FragColor = vec4 (cv,1);
}

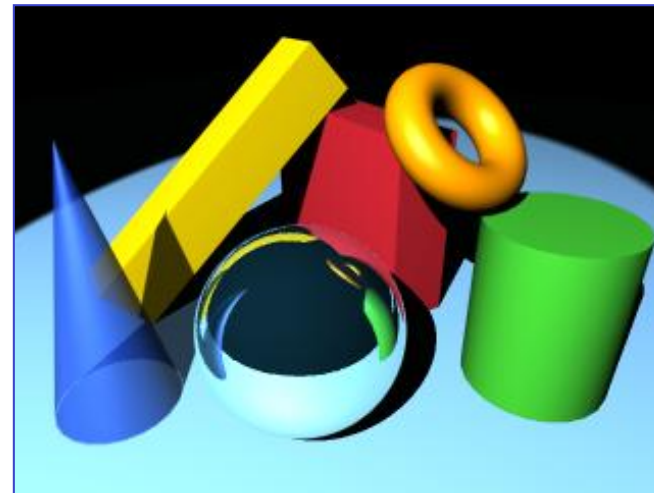
```

# Classe 6: contingut

- Realisme: Eliminació de parts ocultes.
  - Back-face culling
  - Depth-buffer
- **Realisme: Il·luminació (1)**
  - **Conceptes**
  - Models d'il·luminació empírics

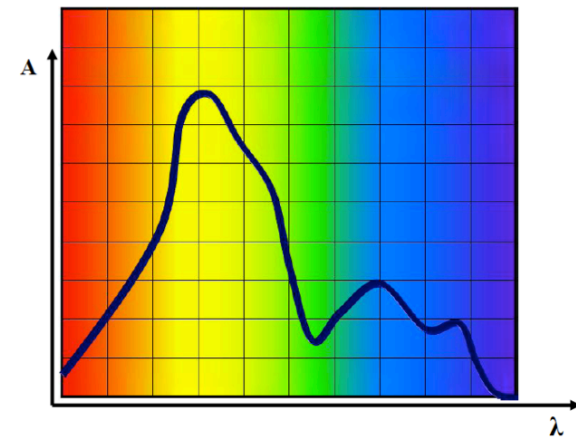
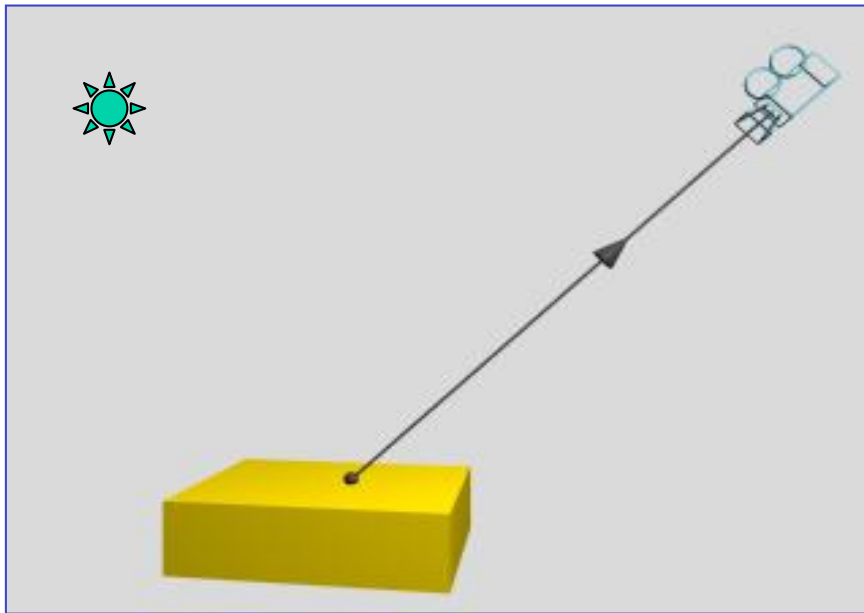
# Introducció

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

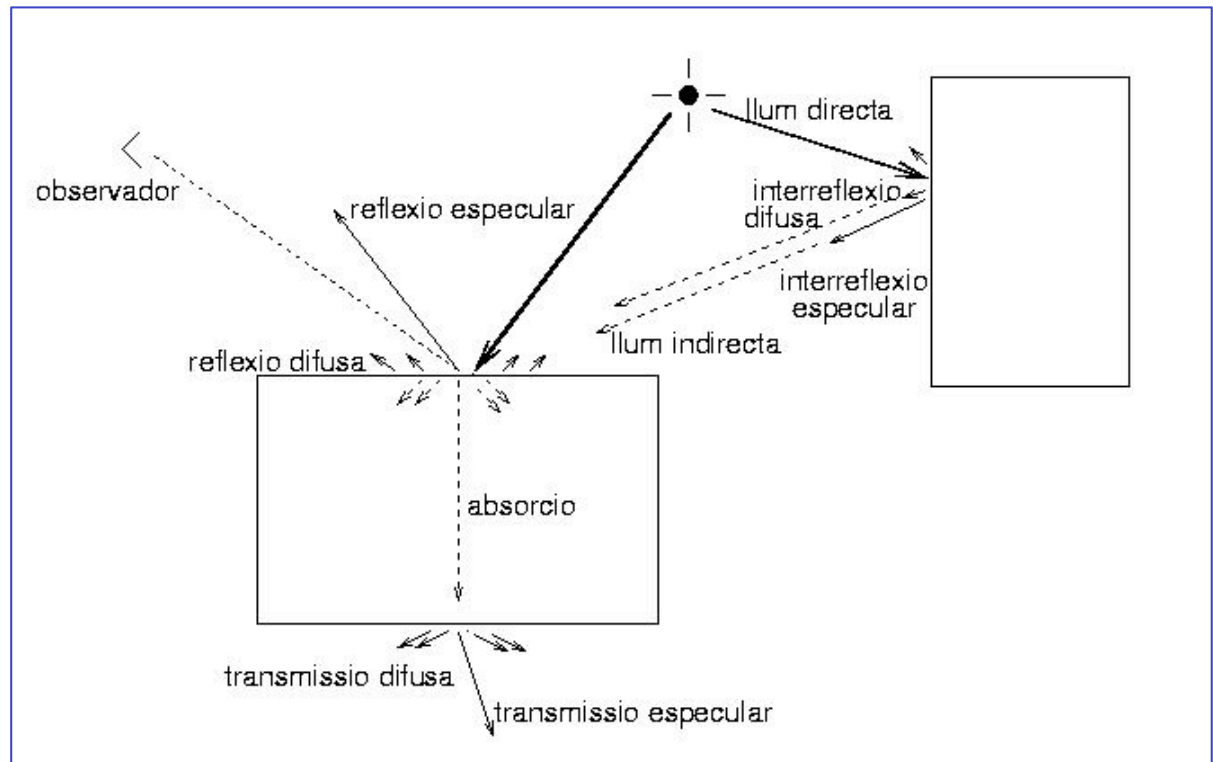


$$I_\lambda(P \rightarrow Obs) \quad \lambda \in \{r, g, b\}$$

# Elements que intervenen

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

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



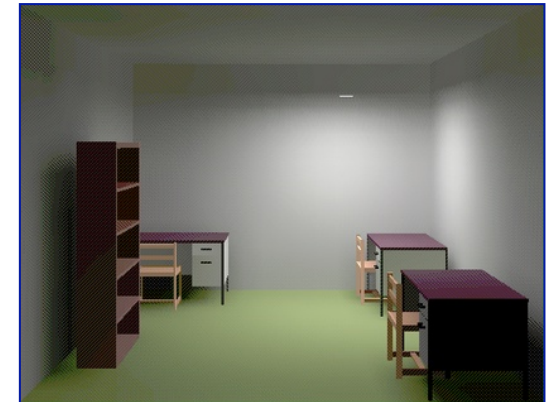
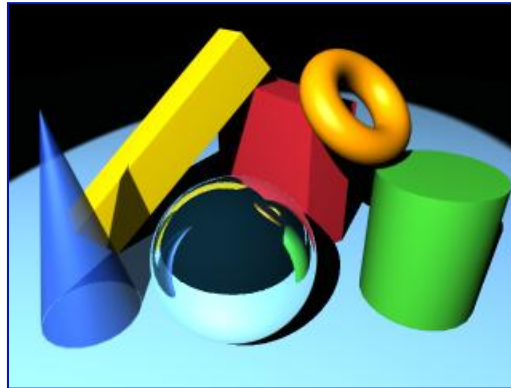
# Models d'il·luminació

- 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.

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

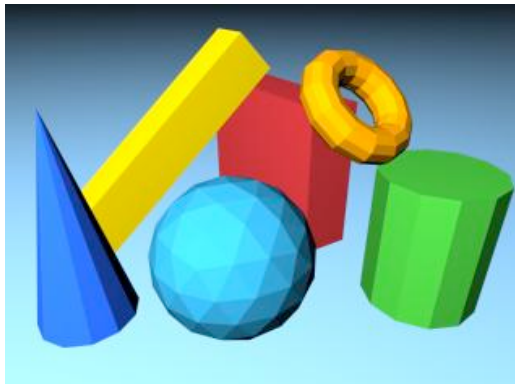
# Models d'il·luminació: Classificació

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



# Models locals o empírics

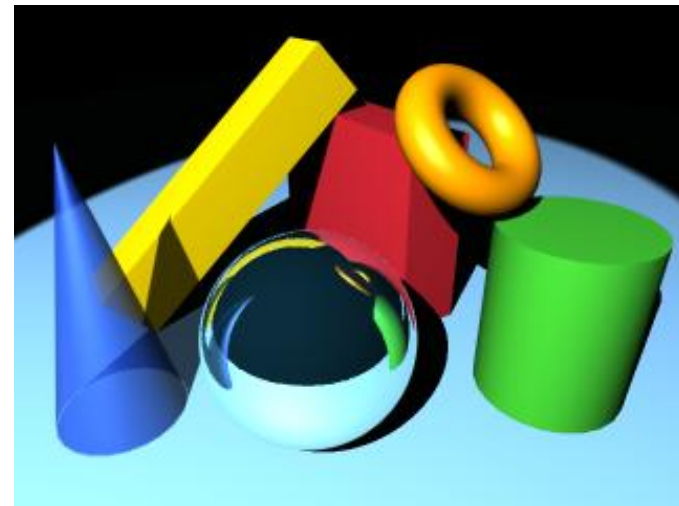
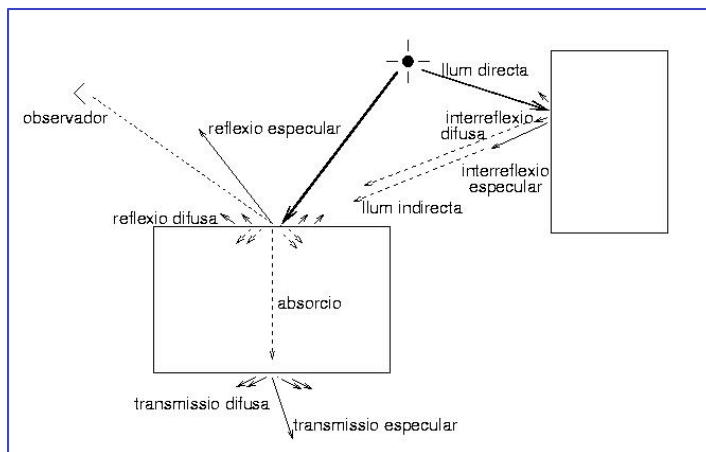
- Només consideren per al calcul del color: **el punt  $P$  en què es calcula, els focus de llum (sempre puntuals) i la posició de l'observador.**
- No consideren altres objectes de l'escena (**no ombres, no miralls, no transparències**).
- Aproximen la transmissió de la llum per fórmules empíriques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





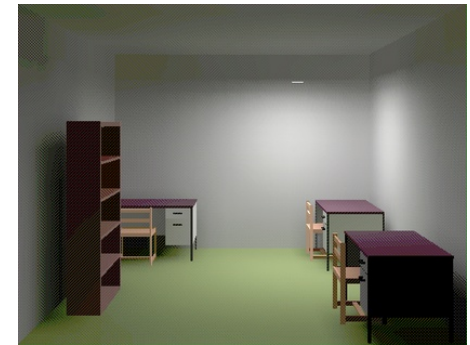
# Models de traçat de raig

- 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.

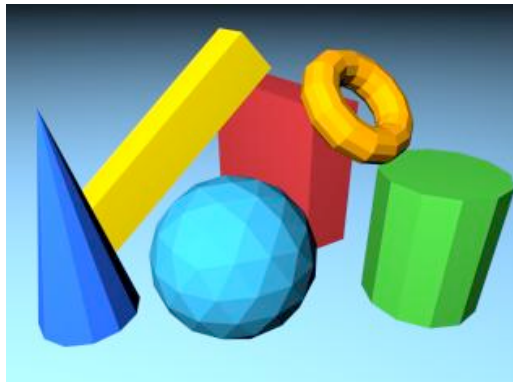


# Classe 6: contingut

- Realisme: Eliminació de parts ocultes.
  - Back-face culling
  - Depth-buffer
- **Realisme: Il·luminació (1)**
  - Conceptes
  - **Models d'Il·luminació empírics**

# Models locals o empírics

- Només consideren pel calcul 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.



# 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

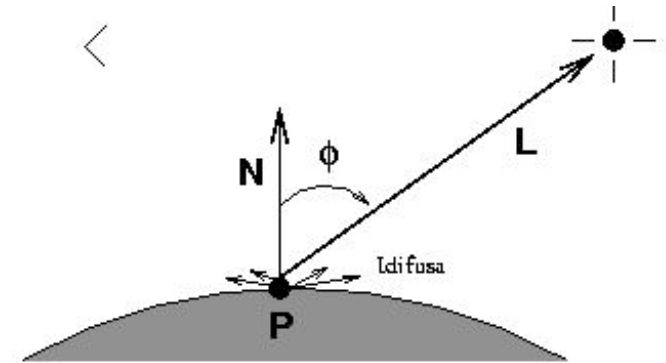


# Model empíric difús (Lambert)

- 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.

$$I_{\lambda}(P) = I_{f\lambda} k_{d\lambda} \cos(\Phi)$$

*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**



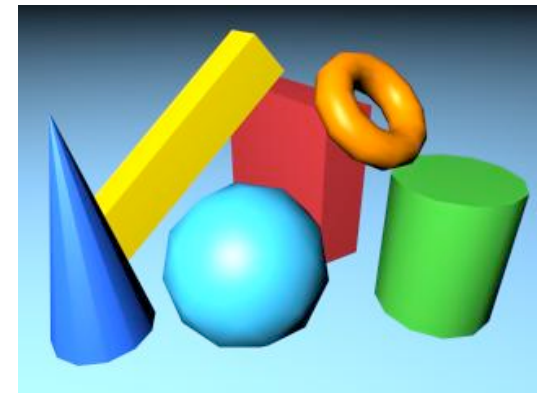
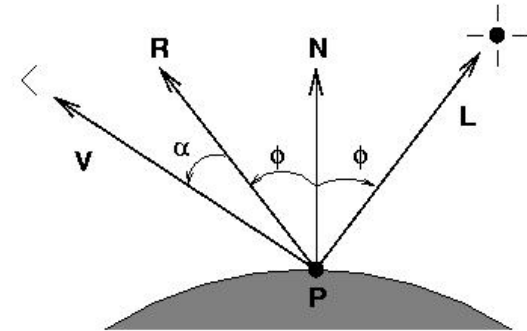
# Model empíric especular (Phong)

- 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.



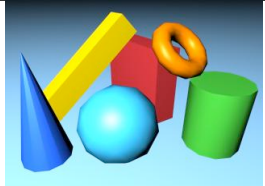
$$I_{\lambda}(P) = I_{f\lambda} k_{s\lambda} \cos^n(\alpha)$$

*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



# 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	

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



## **Exercici 48:**

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

## Exercici 1:

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 6:

Disposem de dos cubs amb les seves cares paral·leles als plans coordenats, 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?