

# Caractéristiques générales des circuits intégrés

Adrian Daerr <[adrian.daerr@univ-paris-diderot.fr](mailto:adrian.daerr@univ-paris-diderot.fr)>

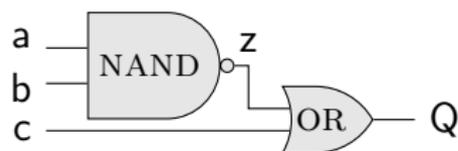
2018 / 2019

Électronique numérique L3 EIDD 1A

# Important de connaître les caractéristiques des circuits

- Différences de comportement portes réelles  $\leftrightarrow$  portes idéales
  - ▶ Délai entre changement des entrées et mise à jour de la sortie (délai de propagation)
  - ▶ Bruit dans un circuit électronique peut réduire la fiabilité
  - ▶ Limites de puissance  $\rightsquigarrow$  une sortie ne peut fournir de signal à plus de  $N$  entrées
- $\exists$  différentes familles de circuits  
 $\Rightarrow$  choix à la conception
  - ▶ Différents avantages et inconvénients (ex.: vitesse, consommation, ...)
  - ▶ Interfacer différentes familles est source de problèmes ...
    - Gammes différentes de tension d'alimentation
    - Codage incompatible des niveaux logiques H / L (ex: intervalles de tensions différents)
  - ▶ ... mais parfois intéressant (ex: partie critique rapide et énergivore, périphérie plus lente et économe)

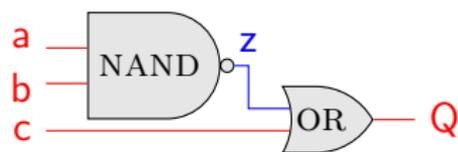
## Exemple: conséquence du délai de propagation



| a | b   | c | Q |
|---|-----|---|---|
|   | ... |   |   |
| H | L   | L | H |
|   | ... |   |   |
| H | H   | H | H |

Passage  $(a, b, c) = (H, H, H)$  à  $(H, L, L)$  :

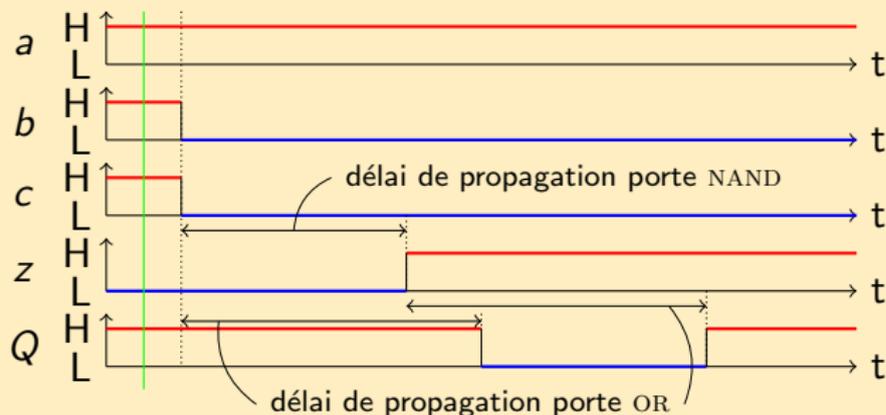
## Exemple: conséquence du délai de propagation



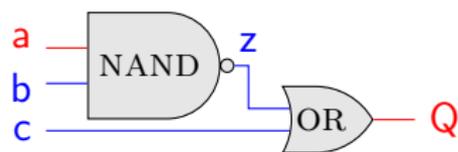
| a | b   | c | Q |
|---|-----|---|---|
|   | ... |   |   |
| H | L   | L | H |
|   | ... |   |   |
| H | H   | H | H |

Passage  $(a, b, c) = (H, H, H)$  à  $(H, L, L)$  :

## Chronographe



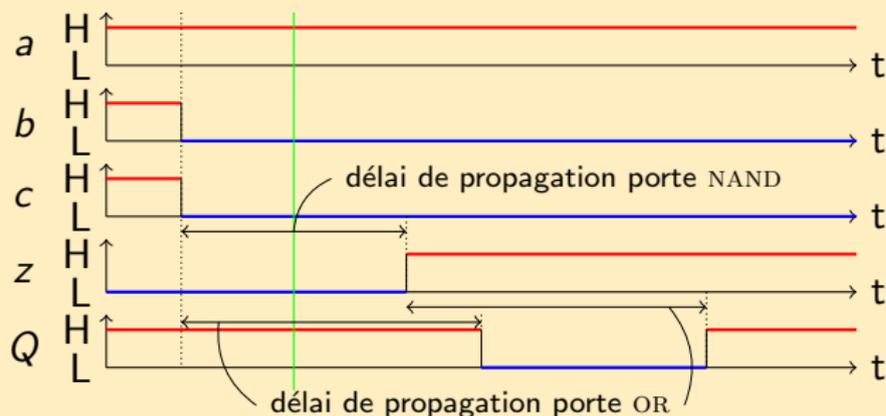
## Exemple: conséquence du délai de propagation



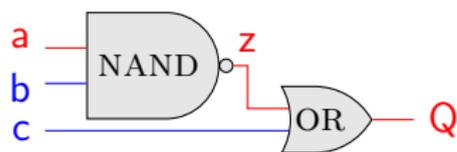
| a | b   | c | Q |
|---|-----|---|---|
|   | ... |   |   |
| H | L   | L | H |
|   | ↑   | ↑ |   |
| H | H   | H | H |

Passage  $(a, b, c) = (H, H, H)$  à  $(H, L, L)$  :

## Chronographe



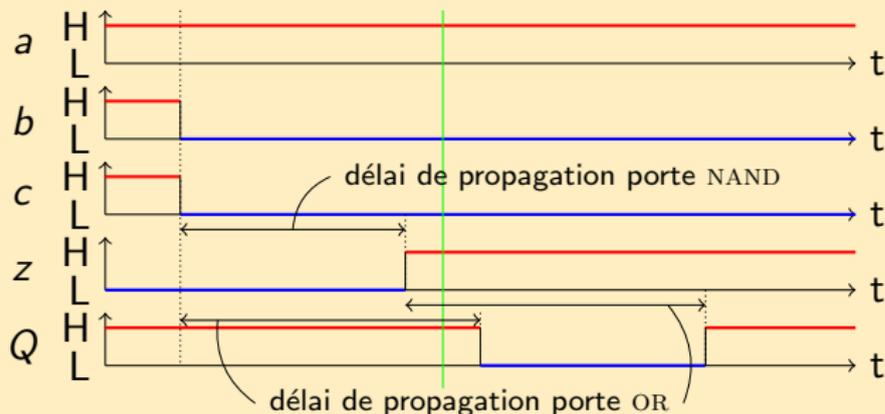
## Exemple: conséquence du délai de propagation



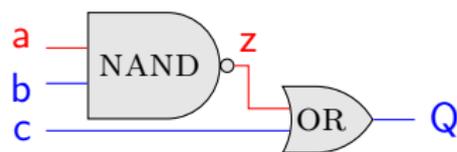
| a | b   | c | Q |
|---|-----|---|---|
|   | ... |   |   |
| H | L   | L | H |
|   | ... |   |   |
| H | H   | H | H |

Passage  $(a, b, c) = (H, H, H)$  à  $(H, L, L)$  :

## Chronographe



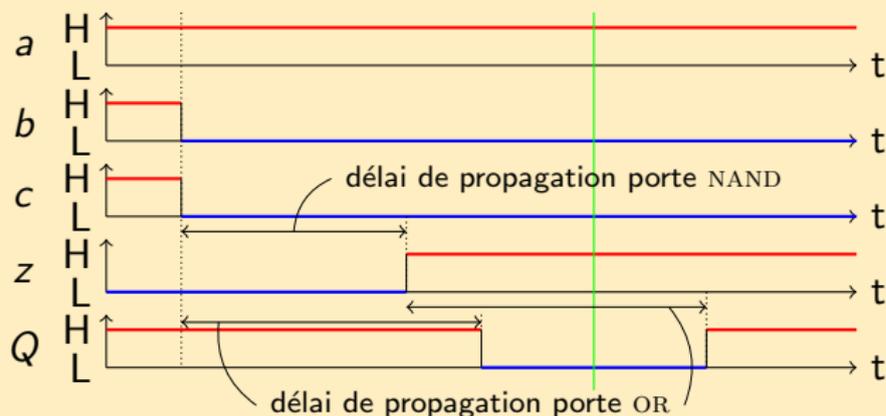
## Exemple: conséquence du délai de propagation



| a | b   | c | Q |
|---|-----|---|---|
|   | ... |   |   |
| H | L   | L | H |
|   | ... |   |   |
| H | H   | H | H |

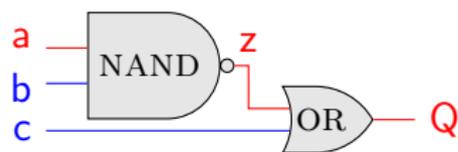
Passage  $(a, b, c) = (H, H, H)$  à  $(H, L, L)$  :

## Chronographe



$Q$  ne devrait pourtant pas changer d'état !

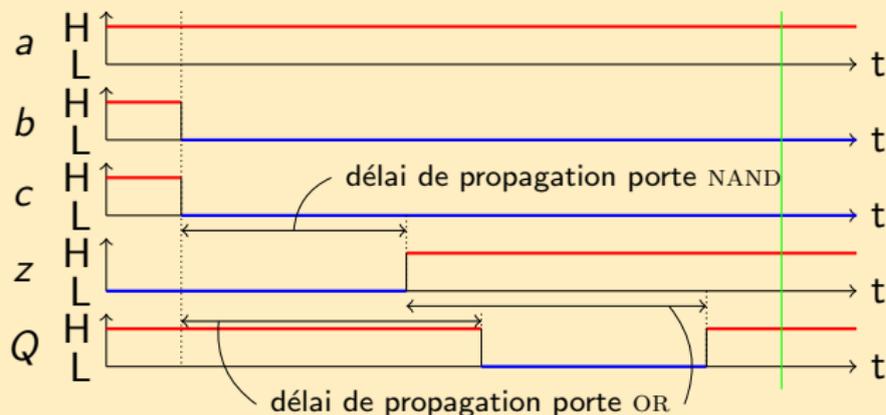
## Exemple: conséquence du délai de propagation



| a | b   | c | Q |
|---|-----|---|---|
|   | ... |   |   |
| H | L   | L | H |
|   | ... |   |   |
| H | H   | H | H |

Passage  $(a, b, c) = (H, H, H)$  à  $(H, L, L)$  :

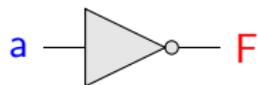
## Chronographe



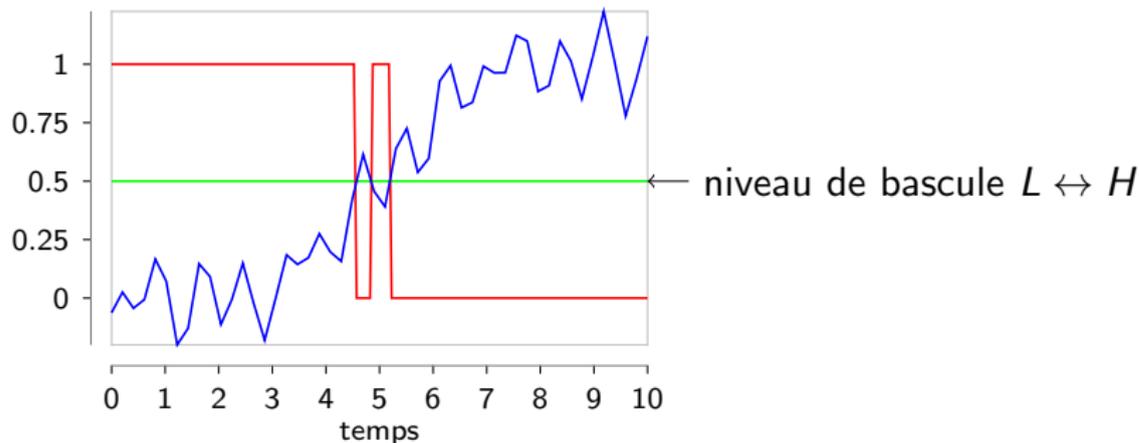
Q ne devrait pourtant pas changer d'état !

Sortie Q stable après la somme des délais

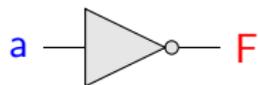
## Exemple 2: effet d'un bruit électrique



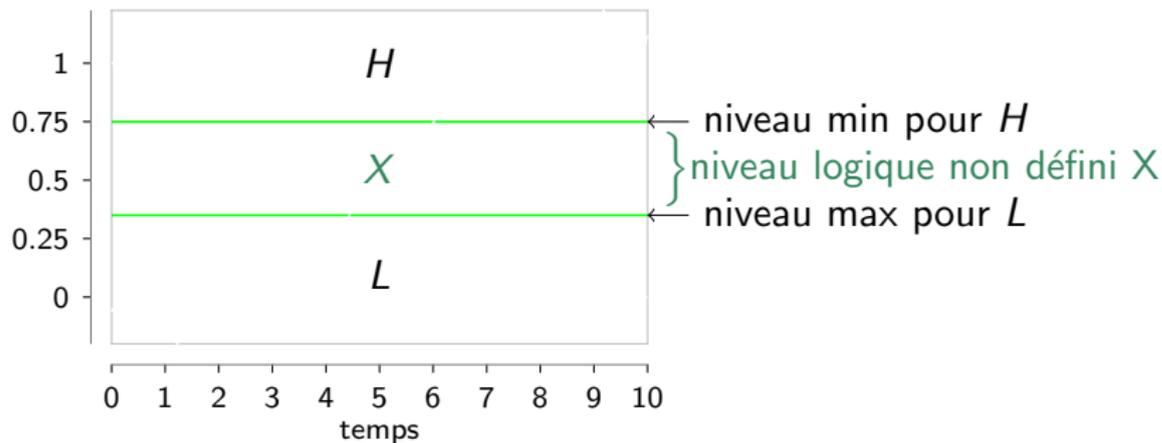
Signal bruité à l'entrée d'un inverseur



## Exemple 2: effet d'un bruit électrique

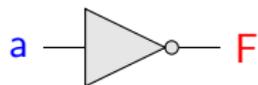


Signal bruité à l'entrée d'un inverseur (plus réaliste: deux seuils)

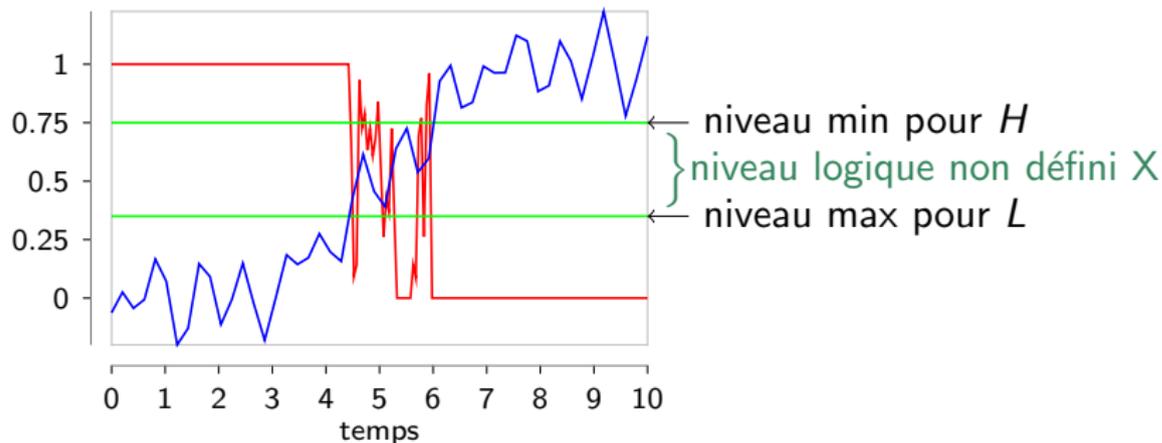


Comportement imprévisible dans tout l'intervalle non défini.

## Exemple 2: effet d'un bruit électrique



Signal bruité à l'entrée d'un inverseur

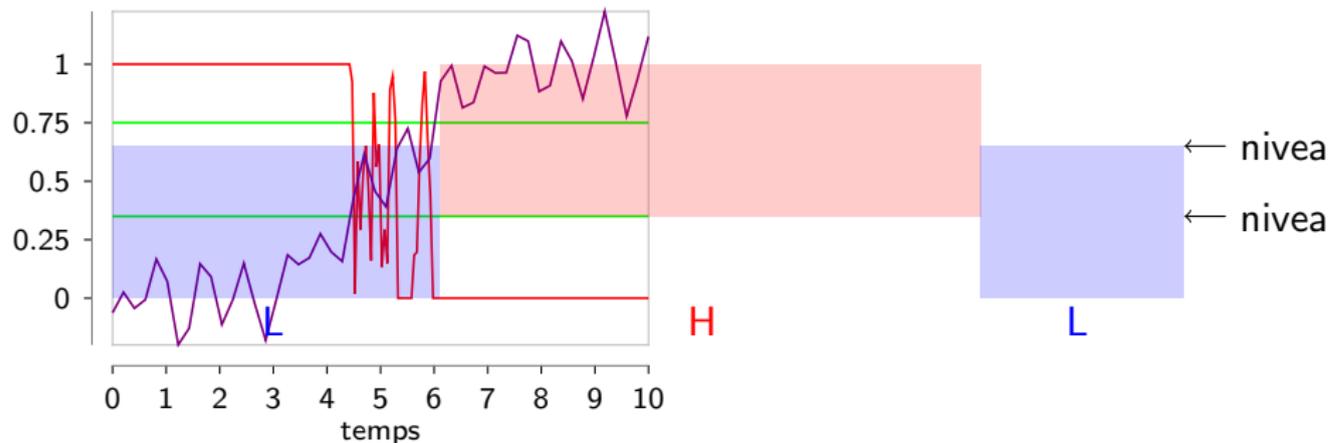


# Entrée trigger de Schmitt

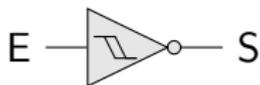
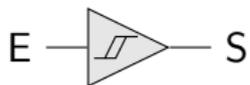
Comportement défini pour une entrée bruitée ou lentement variable

Transition  $L \rightarrow H$  à un niveau  $S_{IH}$

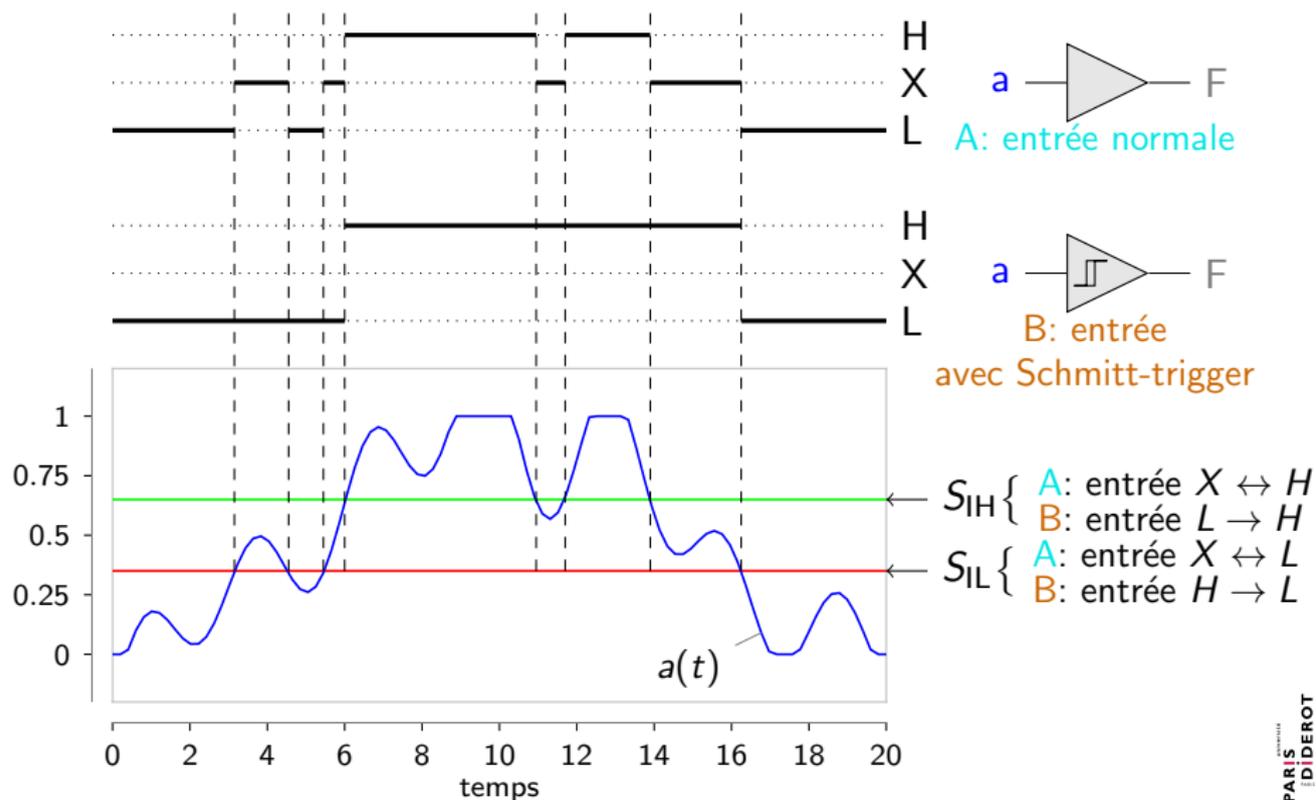
Transition  $H \rightarrow L$  à un niveau  $S_{IL} < S_{IH}$



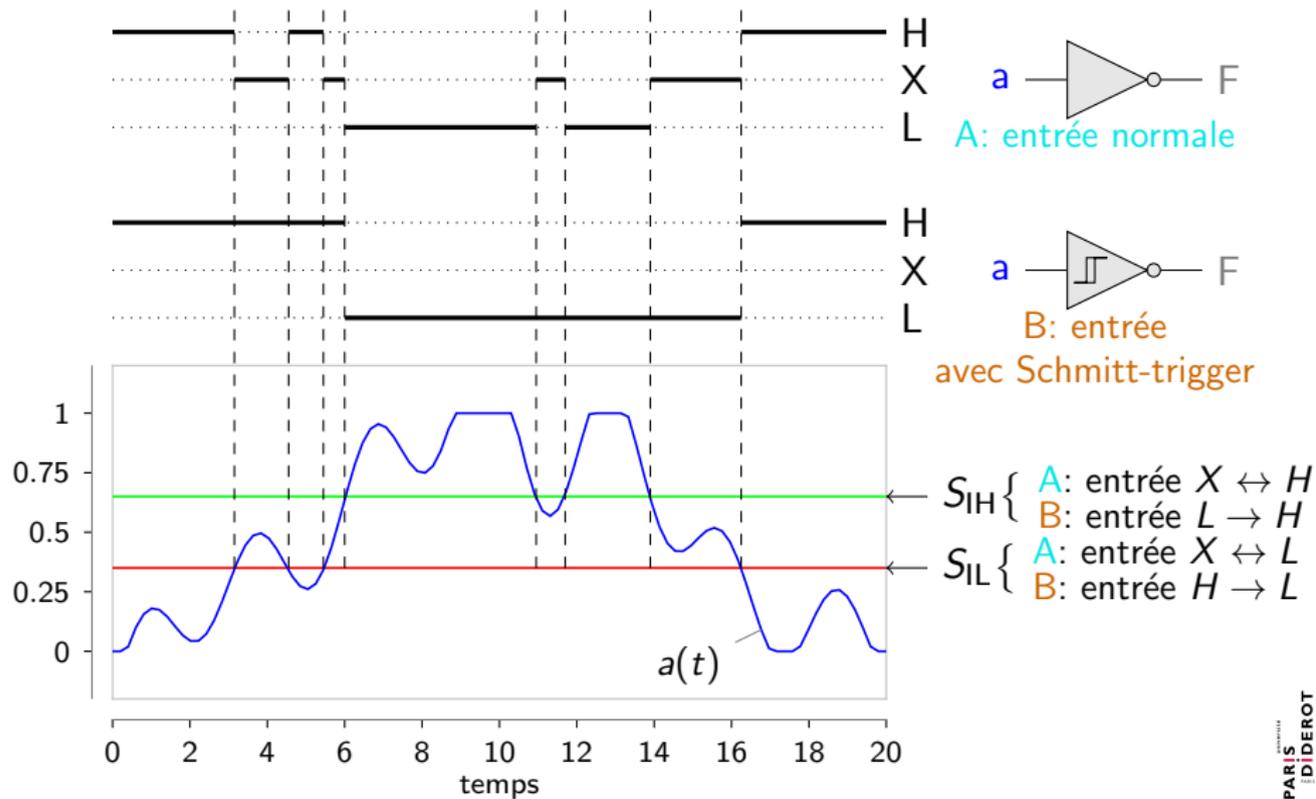
Symboles:



# Trigger de Schmitt



# Trigger de Schmitt

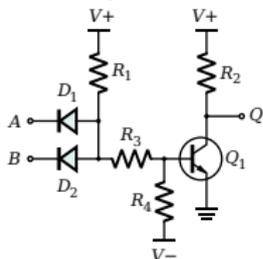


# Plan du cours

- Technologies principales et leurs caractéristiques
- Lire les données des fabricants
  - conditions de fonctionnement correct d'un circuit intégré
    - ▶ Seuils de dommages irréversibles
    - ▶ Paramètres conseillés de fonctionnement
    - ▶ Tolérances sur les entrées/sorties
    - ▶ Comportement dynamique: temps de propagation
- Circuits d'entrée/sortie particuliers

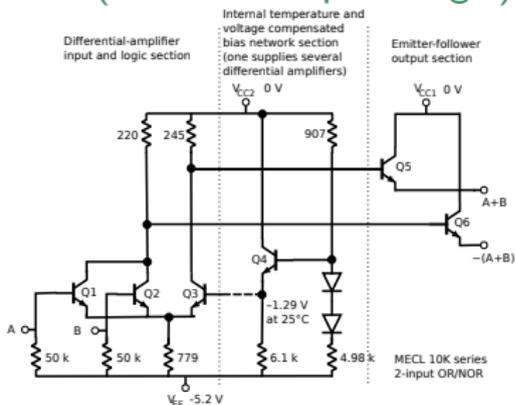
# Survol des technologies principales

## DTL (Diode-Transistor-Logic)

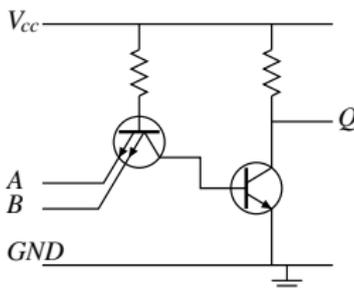


obsolète

## ECL (Emitter-Coupled-Logic)

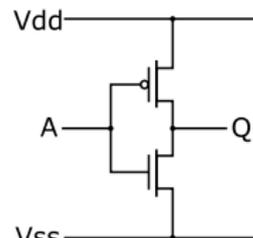
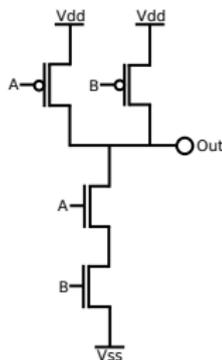


## TTL (Transistor-Transistor-Logic)



Transistors  
bipolaires en mode  
saturé

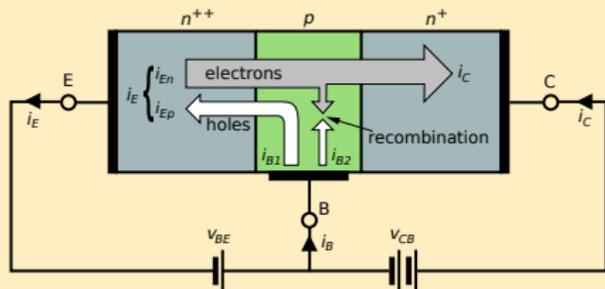
## CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor)



Transistors FET

# Transistors bipolaires vs transistors à effet de champ

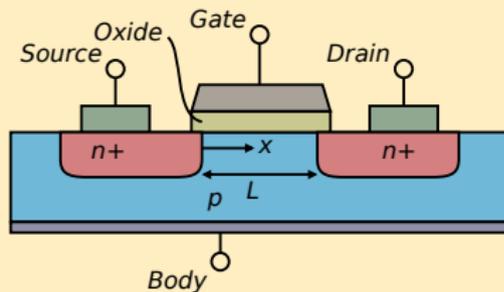
## Bipolar junction transistor



Amplification (100 à 1000 fois) du courant ( $I_{CE}/I_{BE}$ ).

Utilisation en mode linéaire (ECL) ou saturé (TTL).

## Field Effect Transistor

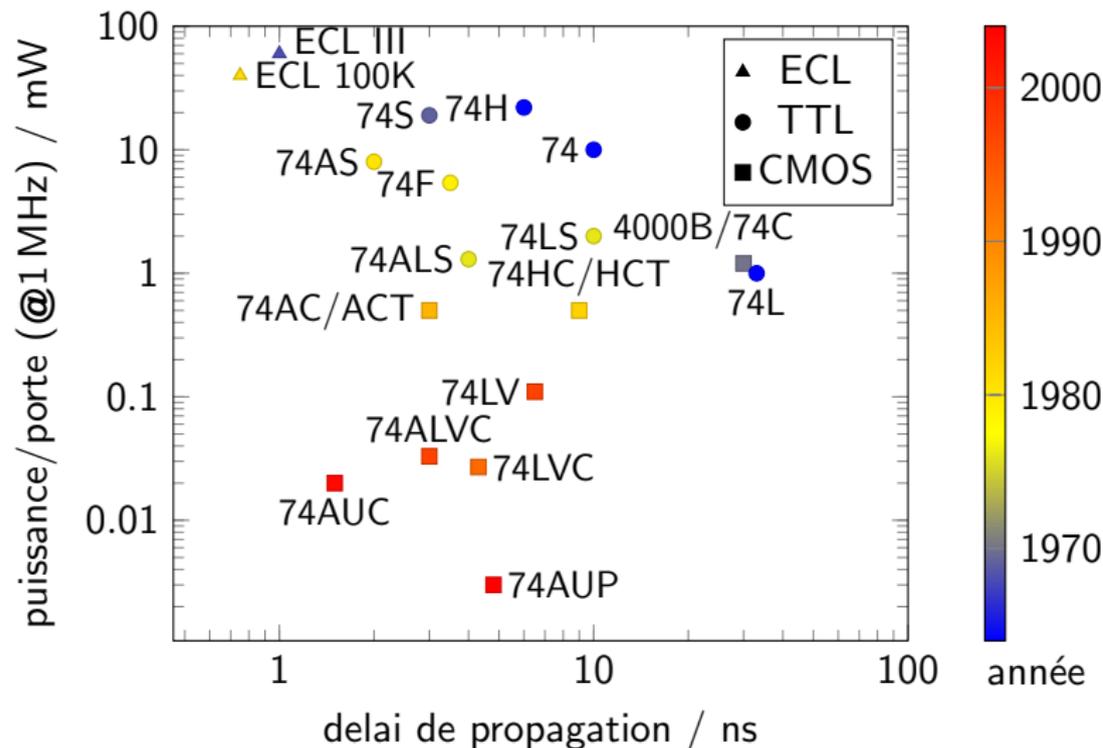


«Base» (gate) isolée du substrat  
 $\Rightarrow$  potentiel maintenu sans courant  
 $\rightarrow$  Circuits et mémoires qui consomment très peu en statique

# Survol des technologies principales

- DTL (Diode-Transistor-Logic)** , Rapidement éliminée en faveur du TTL (plus rapide): technologie obsolète
- TTL (Transistor-Transistor-Logic)** ( $V_{cc} = 5\text{ V}$ ,  $H=5\text{ V}$ ,  $L=0\text{ V}$ ) Meilleur compromis vitesse / consommation avant l'apparition du CMOS
- ECL (Emitter-Coupled-Logic)** Consommation importante, mais très rapide (encore utilisé en RF, communications rapides  $\sim$  Gbit/s); maintenant variantes à FET (Source Coupled Logic)
- CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor)** ( $V_{cc} = 0.8\text{ V}$  à  $18\text{ V}$ ,  $H=V_{cc}$ ,  $L=0\text{ V}$ ) Très basse consommation; technologie actuellement dominante

# Comparaison de différentes technologies



# Lire les spécifications des fabricants

1. Seuils de dommages irréversibles (anglais: "Absolute maximum ratings")
2. Conditions d'opération normale (anglais: "Recommended operating conditions")

## Exemple extrait d'une fiche 74AC(T)04

74AC04 • 74ACT04

### Absolute Maximum Ratings (Note 1)

|                                     |                          |
|-------------------------------------|--------------------------|
| Supply Voltage ( $V_{CC}$ )         | -0.5V to +7.0V           |
| DC Input Diode Current ( $I_{IK}$ ) |                          |
| $V_I = -0.5V$                       | -20 mA                   |
| $V_I = V_{CC} + 0.5V$               | +20 mA                   |
| DC Input Voltage ( $V_I$ )          | -0.5V to $V_{CC} + 0.5V$ |

### Recommended Operating Conditions

|                             |                |
|-----------------------------|----------------|
| Supply Voltage ( $V_{CC}$ ) |                |
| AC                          | 2.0V to 6.0V   |
| ACT                         | 4.5V to 5.5V   |
| Input Voltage ( $V_I$ )     | 0V to $V_{CC}$ |

- Alimenter le circuit en mauvaise polarité est fatal!
- Tensions sur toutes les entrées doivent rester dans l'intervalle  $[0V, V_{CC}]$  (dépassement de 0.5V  $\rightsquigarrow$  mort du circuit)
- Large gamme de tensions pour le CMOS (2V à 6V): parfait pour fonctionnement sur batterie; faible tension  $\Rightarrow$  faible dissipation.
- Gamme plus contrainte en compatibilité TTL (version ACT).

# Lire les spécifications des fabricants

## 3. Tolérances sur les niveaux d'entrées/sorties

### Caractéristiques statiques (anglais: "DC": courant continu)

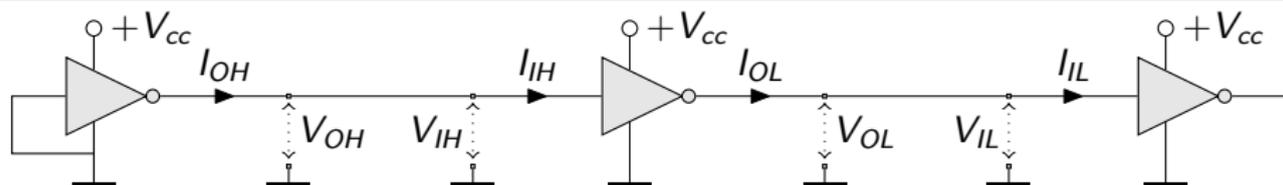
varient d'un composant à l'autre (aléa de fabrication)

↪ une valeur *typique*, et une limite *garantie* pour tous les composants.

#### DC Electrical Characteristics for ACT

| Symbol          | Parameter                            | V <sub>CC</sub><br>(V) | T <sub>A</sub> = +25°C |                   | T <sub>A</sub> = -40°C to +85°C |   | Units   | Conditions |
|-----------------|--------------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------|---------------------------------|---|---|------------|
|                 |                                      |                        | Typ                    | Guaranteed Limits |                                 |   |   |            |
| V <sub>IH</sub> | Minimum HIGH Level<br>Input Voltage  | 4.5                    | 1.5                    | 2.0               | 2.0                             | V | V <sub>OUT</sub> = 0.1V<br>or V <sub>CC</sub> - 0.1V  |            |
|                 |                                      | 5.5                    | 1.5                    | 2.0               | 2.0                             |   |   |            |
| V <sub>IL</sub> | Maximum LOW Level<br>Input Voltage   | 4.5                    | 1.5                    | 0.8               | 0.8                             | V | V <sub>OUT</sub> = 0.1V<br>or V <sub>CC</sub> - 0.1V  |            |
|                 |                                      | 5.5                    | 1.5                    | 0.8               | 0.8                             |   |   |            |
| V <sub>OH</sub> | Minimum HIGH Level<br>Output Voltage | 4.5                    | 4.49                   | 4.4               | 4.4                             | V | I <sub>OUT</sub> = -50 μA   |            |
|                 |                                      | 5.5                    | 5.49                   | 5.4               | 5.4                             |   |   |            |
|                 |                                      | 4.5                    |                        | 3.86              | 3.76                            | V | V <sub>IN</sub> = V <sub>IL</sub> or V <sub>IH</sub><br>I <sub>OH</sub> = -24 mA<br>I <sub>OH</sub> = -24 mA (Note 5) |            |
|                 |                                      | 5.5                    |                        | 4.86              | 4.76                            |   |   |            |
| V <sub>OL</sub> | Maximum LOW Level<br>Output Voltage  | 4.5                    | 0.001                  | 0.1               | 0.1                             | V | I <sub>OUT</sub> = 50 μA  |            |
|                 |                                      | 5.5                    | 0.001                  | 0.1               | 0.1                             |   |   |            |
|                 |                                      | 4.5                    |                        | 0.36              | 0.44                            | V | V <sub>IN</sub> = V <sub>IL</sub> or V <sub>IH</sub><br>I <sub>OL0</sub> = 24 mA<br>I <sub>OL</sub> = 24 mA (Note 5)  |            |
|                 |                                      | 5.5                    |                        | 0.36              | 0.44                            |   |   |            |

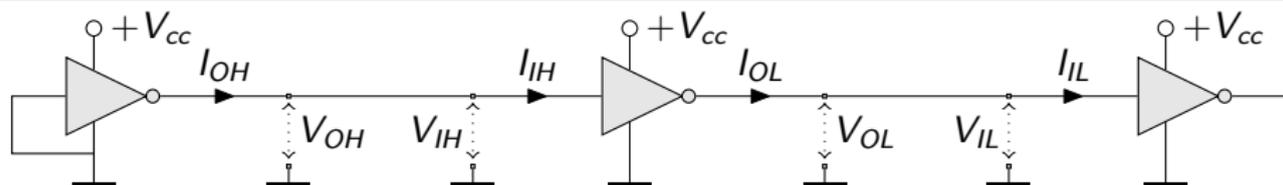
## Spécifications — Tolérances sur les niveaux E/S



| Symbol          | Parameter                            | V <sub>CC</sub><br>(V) | T <sub>A</sub> = +25°C |                   | T <sub>A</sub> = -40°C to +85°C |   | Units   | Conditions |
|-----------------|--------------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------|---------------------------------|---|---|------------|
|                 |                                      |                        | Typ                    | Guaranteed Limits |                                 |   |   |            |
| V <sub>IH</sub> | Minimum HIGH Level<br>Input Voltage  | 4.5                    | 1.5                    | 2.0               | 2.0                             | V | V <sub>OUT</sub> = 0.1V<br>or V <sub>CC</sub> - 0.1V  |            |
|                 |                                      | 5.5                    | 1.5                    | 2.0               | 2.0                             |   |   |            |
| V <sub>IL</sub> | Maximum LOW Level<br>Input Voltage   | 4.5                    | 1.5                    | 0.8               | 0.8                             | V | V <sub>OUT</sub> = 0.1V<br>or V <sub>CC</sub> - 0.1V  |            |
|                 |                                      | 5.5                    | 1.5                    | 0.8               | 0.8                             |   |   |            |
| V <sub>OH</sub> | Minimum HIGH Level<br>Output Voltage | 4.5                    | 4.49                   | 4.4               | 4.4                             | V | I <sub>OUT</sub> = -50 μA   |            |
|                 |                                      | 5.5                    | 5.49                   | 5.4               | 5.4                             |   |   |            |
|                 |                                      | 4.5                    |                        | 3.86              | 3.76                            | V | V <sub>IN</sub> = V <sub>IL</sub> or V <sub>IH</sub><br>I <sub>OH</sub> = -24 mA<br>I <sub>OH</sub> = -24 mA (Note 5) |            |
|                 |                                      | 5.5                    |                        | 4.86              | 4.76                            |   |   |            |
| V <sub>OL</sub> | Maximum LOW Level<br>Output Voltage  | 4.5                    | 0.001                  | 0.1               | 0.1                             | V | I <sub>OUT</sub> = 50 μA  |            |
|                 |                                      | 5.5                    | 0.001                  | 0.1               | 0.1                             |   |   |            |

- Une tension en entrée  $> V_{IH} = 2.0V$  est un *H* logique,

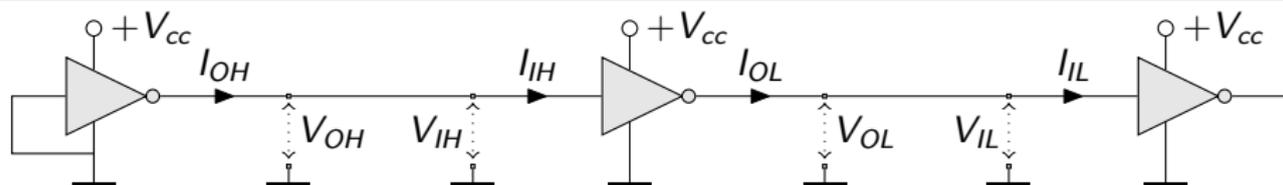
## Spécifications — Tolérances sur les niveaux E/S



| Symbol          | Parameter                            | V <sub>CC</sub><br>(V) | T <sub>A</sub> = +25°C |                   | T <sub>A</sub> = -40°C to +85°C |   | Units   | Conditions |
|-----------------|--------------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------|---------------------------------|---|---|------------|
|                 |                                      |                        | Typ                    | Guaranteed Limits |                                 |   |   |            |
| V <sub>IH</sub> | Minimum HIGH Level<br>Input Voltage  | 4.5                    | 1.5                    | 2.0               | 2.0                             | V | V <sub>OUT</sub> = 0.1V<br>or V <sub>CC</sub> - 0.1V  |            |
|                 |                                      | 5.5                    | 1.5                    | 2.0               | 2.0                             |   |   |            |
| V <sub>IL</sub> | Maximum LOW Level<br>Input Voltage   | 4.5                    | 1.5                    | 0.8               | 0.8                             | V | V <sub>OUT</sub> = 0.1V<br>or V <sub>CC</sub> - 0.1V  |            |
|                 |                                      | 5.5                    | 1.5                    | 0.8               | 0.8                             |   |   |            |
| V <sub>OH</sub> | Minimum HIGH Level<br>Output Voltage | 4.5                    | 4.49                   | 4.4               | 4.4                             | V | I <sub>OUT</sub> = -50 μA   |            |
|                 |                                      | 5.5                    | 5.49                   | 5.4               | 5.4                             |   |   |            |
|                 |                                      | 4.5                    |                        | 3.86              | 3.76                            | V | V <sub>IN</sub> = V <sub>IL</sub> or V <sub>IH</sub><br>I <sub>OH</sub> = -24 mA<br>I <sub>OH</sub> = -24 mA (Note 5) |            |
|                 |                                      | 5.5                    |                        | 4.86              | 4.76                            |   |   |            |
| V <sub>OL</sub> | Maximum LOW Level<br>Output Voltage  | 4.5                    | 0.001                  | 0.1               | 0.1                             | V | I <sub>OUT</sub> = 50 μA  |            |
|                 |                                      | 5.5                    | 0.001                  | 0.1               | 0.1                             |   |   |            |

- Une tension en entrée  $> V_{IH} = 2.0V$  est un H logique,
- Une tension en entrée  $< V_{IL} = 0.8V$  est un L logique,

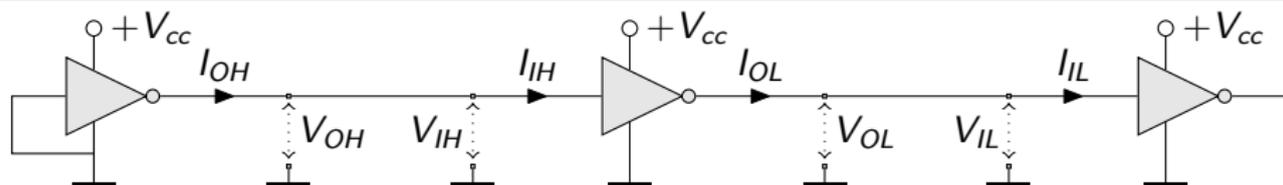
## Spécifications — Tolérances sur les niveaux E/S



| Symbol          | Parameter                            | V <sub>CC</sub><br>(V) | T <sub>A</sub> = +25°C |                   | T <sub>A</sub> = -40°C to +85°C |   | Units   | Conditions |
|-----------------|--------------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------|---------------------------------|---|---|------------|
|                 |                                      |                        | Typ                    | Guaranteed Limits |                                 |   |   |            |
| V <sub>IH</sub> | Minimum HIGH Level<br>Input Voltage  | 4.5                    | 1.5                    | 2.0               | 2.0                             | V | V <sub>OUT</sub> = 0.1V<br>or V <sub>CC</sub> - 0.1V  |            |
|                 |                                      | 5.5                    | 1.5                    | 2.0               | 2.0                             |   |   |            |
| V <sub>IL</sub> | Maximum LOW Level<br>Input Voltage   | 4.5                    | 1.5                    | 0.8               | 0.8                             | V | V <sub>OUT</sub> = 0.1V<br>or V <sub>CC</sub> - 0.1V  |            |
|                 |                                      | 5.5                    | 1.5                    | 0.8               | 0.8                             |   |   |            |
| V <sub>OH</sub> | Minimum HIGH Level<br>Output Voltage | 4.5                    | 4.49                   | 4.4               | 4.4                             | V | I <sub>OUT</sub> = -50 μA   |            |
|                 |                                      | 5.5                    | 5.49                   | 5.4               | 5.4                             |   |   |            |
|                 |                                      | 4.5                    |                        | 3.86              | 3.76                            | V | V <sub>IN</sub> = V <sub>IL</sub> or V <sub>IH</sub><br>I <sub>OH</sub> = -24 mA<br>I <sub>OH</sub> = -24 mA (Note 5) |            |
|                 |                                      | 5.5                    |                        | 4.86              | 4.76                            |   |   |            |
| V <sub>OL</sub> | Maximum LOW Level<br>Output Voltage  | 4.5                    | 0.001                  | 0.1               | 0.1                             | V | I <sub>OUT</sub> = 50 μA  |            |
|                 |                                      | 5.5                    | 0.001                  | 0.1               | 0.1                             |   |   |            |

- Une tension en entrée  $> V_{IH} = 2.0V$  est un *H* logique,
- Une tension en entrée  $< V_{IL} = 0.8V$  est un *L* logique,
- Le comportement du composant n'est pas défini pour une tension intermédiaire (entre  $V_{IL}$  et  $V_{IH}$ ) !

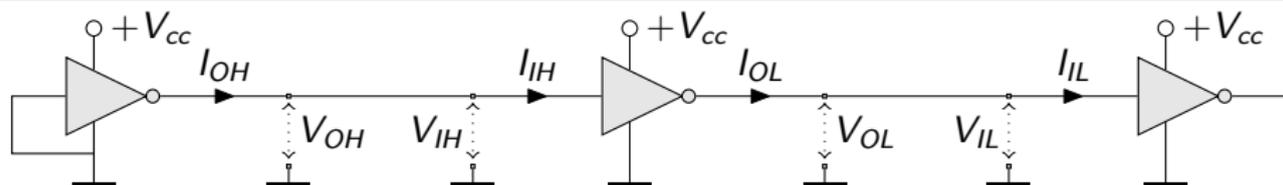
# Spécifications — Tolérances sur les niveaux E/S



| Symbol   | Parameter                            | $V_{CC}$<br>(V) | $T_A = +25^\circ\text{C}$ |                   | $T_A = -40^\circ\text{C to } +85^\circ\text{C}$ |   | Units  | Conditions |
|----------|--------------------------------------|-----------------|---------------------------|-------------------|---|---|--|------------|
|          |                                      |                 | Typ                       | Guaranteed Limits |   |   |  |            |
| $V_{IH}$ | Minimum HIGH Level<br>Input Voltage  | 4.5             | 1.5                       | 2.0               | 2.0   | V | $V_{OUT} = 0.1\text{V}$<br>or $V_{CC} - 0.1\text{V}$   |            |
|          |                                      | 5.5             | 1.5                       | 2.0               | 2.0   |   |  |            |
| $V_{IL}$ | Maximum LOW Level<br>Input Voltage   | 4.5             | 1.5                       | 0.8               | 0.8   | V | $V_{OUT} = 0.1\text{V}$<br>or $V_{CC} - 0.1\text{V}$   |            |
|          |                                      | 5.5             | 1.5                       | 0.8               | 0.8   |   |  |            |
| $V_{OH}$ | Minimum HIGH Level<br>Output Voltage | 4.5             | 4.49                      | 4.4               | 4.4   | V | $I_{OUT} = -50\ \mu\text{A}$   |            |
|          |                                      | 5.5             | 5.49                      | 5.4               | 5.4   |   |  |            |
| $V_{OL}$ | Maximum LOW Level<br>Output Voltage  | 4.5             |                           | 3.86              | 3.76  | V | $V_{IN} = V_{IL}$ or $V_{IH}$<br>$I_{OH} = -24\ \text{mA}$<br>$I_{OH} = -24\ \text{mA}$ (Note 5) |            |
|          |                                      | 5.5             |                           | 4.86              | 4.76  |   |  |            |
| $V_{OL}$ | Maximum LOW Level<br>Output Voltage  | 4.5             | 0.001                     | 0.1               | 0.1   | V | $I_{OUT} = 50\ \mu\text{A}$  |            |
|          |                                      | 5.5             | 0.001                     | 0.1               | 0.1   |   |  |            |

- En sortie, on est à moins de 0.1 V de saturation,

# Spécifications — Tolérances sur les niveaux E/S



| Symbol   | Parameter                            | $V_{CC}$<br>(V) | $T_A = +25^\circ\text{C}$ |                   | $T_A = -40^\circ\text{C to } +85^\circ\text{C}$ |   | Units  | Conditions |
|----------|--------------------------------------|-----------------|---------------------------|-------------------|---|---|--|------------|
|          |                                      |                 | Typ                       | Guaranteed Limits |   |   |  |            |
| $V_{IH}$ | Minimum HIGH Level<br>Input Voltage  | 4.5             | 1.5                       | 2.0               | 2.0   | V | $V_{OUT} = 0.1\text{V}$<br>or $V_{CC} - 0.1\text{V}$   |            |
|          |                                      | 5.5             | 1.5                       | 2.0               | 2.0   |   |  |            |
| $V_{IL}$ | Maximum LOW Level<br>Input Voltage   | 4.5             | 1.5                       | 0.8               | 0.8   | V | $V_{OUT} = 0.1\text{V}$<br>or $V_{CC} - 0.1\text{V}$   |            |
|          |                                      | 5.5             | 1.5                       | 0.8               | 0.8   |   |  |            |
| $V_{OH}$ | Minimum HIGH Level<br>Output Voltage | 4.5             | 4.49                      | 4.4               | 4.4   | V | $I_{OUT} = -50\ \mu\text{A}$   |            |
|          |                                      | 5.5             | 5.49                      | 5.4               | 5.4   |   |  |            |
|          |                                      | 4.5             |                           | 3.86              | 3.76  | V | $V_{IN} = V_{IL}$ or $V_{IH}$<br>$I_{OH} = -24\ \text{mA}$<br>$I_{OH} = -24\ \text{mA}$ (Note 5) |            |
|          |                                      | 5.5             |                           | 4.86              | 4.76  |   |  |            |
| $V_{OL}$ | Maximum LOW Level<br>Output Voltage  | 4.5             | 0.001                     | 0.1               | 0.1   | V | $I_{OUT} = 50\ \mu\text{A}$  |            |
|          |                                      | 5.5             | 0.001                     | 0.1               | 0.1   |   |  |            |

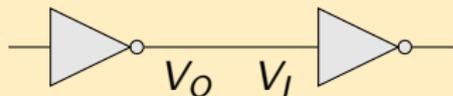
- En sortie, on est à moins de 0.1 V de saturation,
- *sauf* si le circuit branché sur la sortie demande un courant important: alors la tension baisse (H  $\rightarrow$  3.76 V) ou augmente (L  $\rightarrow$  0.44 V) (on reste néanmoins au bon niveau logique)

# Lire les spécifications des fabricants

## 3. Tolérances sur les niveaux d'entrées/sorties

Que nous enseignent ces valeurs sur la

### Tolérance au bruit ?



Dans des conditions extrêmes, la sortie d'un 74AC04 ( $V_{CC} = 4.5\text{ V}$ ) vaut  $V_O \geq 3.76\text{ V}$  (H) ou  $\leq 0.44\text{ V}$  (L). La porte suivante interprète  $V_I \geq 2.0\text{ V}$  comme H logique et  $\leq 0.8\text{ V}$  comme L. Tout va bien (sans bruit!).

Robustesse au bruit ?

- Pour le niveau H l'écart est de  $1.76\text{ V}$  ( $= 3.76\text{ V} - 2\text{ V}$ )
- Pour le niveau L l'écart est de  $0.36\text{ V}$  ( $= 0.8\text{ V} - 0.44\text{ V}$ )

↪ Un bruit supérieur à  $0.36\text{ V}$  *risque* de produire de faux niveaux logiques. Un bruit supérieur à  $1.56\text{ V}$  produira *certainement* un faux résultat (pourquoi?).

# Spécifications — Tolérances sur les niveaux E/S

Pour la **version CMOS**, les seuils dépendent de la tension d'alimentation:

## DC Electrical Characteristics for AC

| Symbol          | Parameter   | V <sub>CC</sub><br>(V)   | T <sub>A</sub> = +25°C |                   | T <sub>A</sub> = -40°C to +85°C | Units | Conditions  |   |
|-----------------|---|--|------------------------|-------------------|---------------------------------|-------|---|---|
|                 |   |  | Typ                    | Guaranteed Limits |                                 |       |   |   |
| V <sub>IH</sub> | Minimum HIGH Level<br>Input Voltage   | 3.0  | 1.5                    | 2.1               | 2.1                             | V     | V <sub>OUT</sub> = 0.1V<br>or V <sub>CC</sub> - 0.1V        |   |
|                 |   | 4.5  | 2.25                   | 3.15              | 3.15                            |       |   |   |
|                 |   | 5.5  | 2.75                   | 3.85              | 3.85                            |       |   |   |
| V <sub>IL</sub> | Maximum LOW Level<br>Input Voltage  | 3.0  | 1.5                    | 0.9               | 0.9                             | V     | V <sub>OUT</sub> = 0.1V<br>or V <sub>CC</sub> - 0.1V        |   |
|                 |   | 4.5  | 2.25                   | 1.35              | 1.35                            |       |   |   |
|                 |   | 5.5  | 2.75                   | 1.65              | 1.65                            |       |   |   |
| V <sub>OH</sub> | Minimum HIGH Level<br>Output Voltage  | 3.0  | 2.99                   | 2.9               | 2.9                             | V     | I <sub>OUT</sub> = -50 μA                                   |   |
|                 |   | 4.5  | 4.49                   | 4.4               | 4.4                             |       |   |   |
|                 |   | 5.5  | 5.49                   | 5.4               | 5.4                             |       |   |   |
|                 | 3.0   | V <sub>IN</sub> = V <sub>IL</sub> or V <sub>IH</sub><br>I <sub>OH</sub> = -12 mA | 3.0                    |                   | 2.56                            | 2.46  | V   | I <sub>OH</sub> = -24 mA<br>I <sub>OH</sub> = -24 mA (Note 2) |
|                 |   |  | 4.5                    |                   | 3.86                            | 3.76  |   |   |
|                 |   |  | 5.5                    |                   | 4.86                            | 4.76  |   |   |
|                 |   |  | 3.0                    |                   | 0.36                            | 0.44  |   |   |
| V <sub>OL</sub> | Maximum LOW Level<br>Output Voltage   | 3.0  | 0.002                  | 0.1               | 0.1                             | V     | I <sub>OUT</sub> = 50 μA                                    |   |
|                 |   | 4.5  | 0.001                  | 0.1               | 0.1                             |       |   |   |
|                 |   | 5.5  | 0.001                  | 0.1               | 0.1                             |       |   |   |
|                 |   | 4.5  |                        | 0.36              | 0.44                            |       |   |   |
| 3.0             | V <sub>IN</sub> = V <sub>IL</sub> or V <sub>IH</sub><br>I <sub>OL</sub> = 12 mA | 3.0  |                        | 0.36              | 0.44                            | V     | I <sub>OL</sub> = 24 mA<br>I <sub>OL</sub> = 24 mA (Note 2) |   |
|                 |   | 4.5  |                        | 0.36              | 0.44                            |       |   |   |
|                 |   | 5.5  |                        | 0.36              | 0.44                            |       |   |   |

# Spécifications — Tolérances sur les niveaux E/S

## TTL vs CMOS

- Seuils différents entre CMOS et TTL, y compris à même  $V_{CC} = 5.5\text{ V}$  !  
 (comparer:  $V_{IH} = 2.0\text{ V}$  et  $V_{IL} = 0.8\text{ V}$  (ACT) à  
 $V_{IH} = 3.85\text{ V}$  et  $V_{IL} = 1.85\text{ V}$  (AC))  
 ⇒ Un circuit CMOS peut interpréter différemment un signal ambigu  
 (2.5 V → garanti H pour l'ACT,  
 → *typiquement* L (mais **indéfini!**) pour AC).
- Comme pour le TTL, attention aux entrées hors spécifications:  
*Failure to supply a voltage to the input of a CMOS device that meets the  $V_{IH}$  or  $V_{IL}$  recommended operating conditions can cause:*
  - 1 *propagation of incorrect logic states,*
  - 2 *high  $I_{CC}$  currents,*
  - 3 *high input noise gain and oscillations,*
  - 4 *power- and ground-rail surge currents and noise, and*
  - 5 *catastrophic device and circuit failure.*

Texas Instruments doc. SZZA036C — Understanding and Interpreting Standard-Logic Data Sheets

# Paramètres typiques de quelques familles de circuits

## CMOS (séries T visent compatibilité avec les circuits TTL)

| Paramètre      | 74         | 74LS       | 74HCT     | 74ACT  | 74HC   | 74AC   |
|----------------|------------|------------|-----------|--------|--------|--------|
| $V_{IH}$ (min) | 2.0 V      |            |           |        | 3.5 V  |        |
| $V_{IL}$ (max) | 0.8 V      |            |           |        | 1.5 V  |        |
| $V_{OH}$ (min) | 2.5 V      |            | 3.8 V     |        |        |        |
| $V_{OL}$ (max) | 0.4 V      |            | 0.5 V     |        |        |        |
| $I_{IH}$ (max) | 40 $\mu$ A | 20 $\mu$ A | 1 $\mu$ A |        |        |        |
| $I_{IL}$ (max) | 1.6 mA     | 0.4 mA     | 1 $\mu$ A |        |        |        |
| $I_{OH}$ (max) | 0.4 mA     | 0.4 mA     | 4.0 mA    | 24 mA  | 4.0 mA | 24 mA  |
| $I_{OL}$ (max) | 16 mA      | 4 mA       | 4.0 mA    | 24 mA  | 4.0 mA | 24 mA  |
| $t_{pd}$ (max) | 22 ns      | 15 ns      | 25 ns     | 9.5 ns | 22 ns  | 6.6 ns |

Valeurs à titre indicatif

Lors de la conception **toujours lire les spécifications du fabricant!**

# Lire les spécifications des fabricants

3bis. **Entrance** et Sortance (“fan-in” et “fan-out”)

**Charge unitaire** courant de commande d'une entrée d'une porte élémentaire (typ. NAND) de la famille logique considérée

**Entrance E** courant de commande maximum d'une entrée exprimée en charge unitaire (l'entrée consomme un courant équivalent à E portes élémentaires en parallèle)

## Exemple: TTL-N

- porte de base:  $I_{IH} = 40 \mu\text{A}$ ,  $I_{IH} = -1.6 \text{ mA}$ ,
- Spécification d'un CI (exemple fictif):  $I_{IH} = 400 \mu\text{A}$ ,  $I_{IH} = -8 \text{ mA}$ ,
- $\Rightarrow$  Entrance au niveau haut: 10
- $\Rightarrow$  Entrance au niveau bas: 5
- $\Rightarrow$  Entrance du CI:  $10 = \max(5, 10)$

# Lire les spécifications des fabricants

3bis. Entrance et **Sortance** (“fan-in” et “fan-out”)

- Sortance S** courant maximum qu'une porte peut fournir (rapporté à celui d'une porte élémentaire)
- ↔ la sortie ne peut alimenter qu'au plus S portes unitaires en parallèle

## Exemple: TTL-N

- porte de base:  $I_{OH} = 40 \mu\text{A}$ ,  $I_{OH} = -1.6 \text{ mA}$ ,
- Spécification d'un CI (exemple fictif):  $I_{OH} = 24 \text{ mA}$ ,  $I_{OH} = -24 \text{ mA}$ ,
- $\Rightarrow$  Sortance au niveau haut: 600
- $\Rightarrow$  Sortance au niveau bas: 15
- $\Rightarrow$  Sortance du CI:  $15 = \min(600, 15)$

# Entrance et Sortance: implications pour la conception

⇒ sur chaque équipotentielle reliant une porte de sortance  $S_0$  à  $N$  portes d'entrances respectives  $E_1, E_2, \dots, E_N$ , il faut que

$$S_0 > \sum_{k=1}^N E_k$$

Sinon:

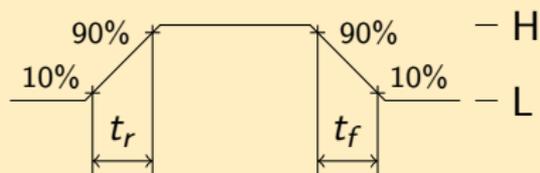
- Les courants maximums sont dépassés
- Les tensions ne sont plus dans les intervalles garantis
- Pannes sporadiques très complexes à identifier et résoudre

# Lire les spécifications des fabricants

## 4. Comportement dynamique: délais

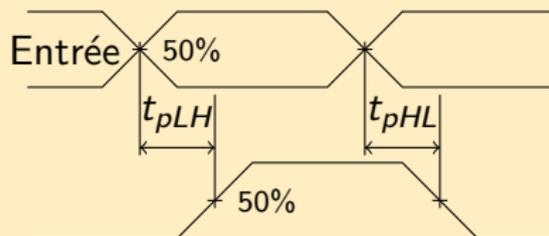
### Durée d'évolution

Temps de changement de tension de sortie pour un basculement logique (temps de montée, temps de descente). Symboliquement:



### Propagation de l'information à travers la porte

Temps entre l'évolution d'une entrée et l'évolution correspondante d'une sortie.



# Lire les spécifications des fabricants

## 4. Comportement dynamique: délais

Caractéristiques dynamiques (anglais: “AC”: courant alterné)

### AC Electrical Characteristics for AC

| Symbol           | Parameter         | V <sub>CC</sub><br>(V)<br>(Note 7) | T <sub>A</sub> = +25°C<br>C <sub>L</sub> = 50 p |     |     | T <sub>A</sub> = -40°C to +85°C<br>C <sub>L</sub> = 50 pF |      | Units |
|------------------|-------------------|------------------------------------|---|-----|-----|---|------|-------|
|                  |                   |                                    | Min   | Typ | Max | Min   | Max  |       |
| t <sub>PLH</sub> | Propagation Delay | 3.3                                | 1.5   | 4.5 | 9.0 | 1.0   | 10.0 | ns    |
|                  |                   | 5.0                                | 1.5   | 4.0 | 7.0 | 1.0   | 7.5  |       |
| t <sub>PHL</sub> | Propagation Delay | 3.3                                | 1.5   | 4.5 | 8.5 | 1.0   | 9.5  | ns    |
|                  |                   | 5.0                                | 1.5   | 3.5 | 6.5 | 1.0   | 7.0  |       |

**Note 7:** Voltage Range 3.3 is 3.3V ± 0.3V

Voltage Range 5.0 is 5.0V ± 0.5V

- Temps de propagation  $t_{pLH}$  et  $t_{pHL}$  presque pareils.
- Légèrement plus rapide à tension d'alimentation plus grande.

# Caractéristiques électriques dynamiques

## Puissance consommée

Puissance dissipée par un CI par

- Courants de fuite continus  $I_{CC}$
- Courants lors d'un changement de niveau logique
  - ▶ Courants par des connexions transitoires internes lors du passage  $1 \rightarrow 0$  et  $0 \rightarrow 1$ .
  - ▶ Charge/décharge de capacités internes ( $C_{pd}$  dans les spécifications, à multiplier par le nombre  $n$  de portes qui basculent)
  - ▶ Charge/décharge de capacités externes.

$$\rightsquigarrow P \simeq V_{CC}I_{CC} + nC_{pd}V_{CC}^2f$$

Puissance consommée par un CI augmente quasi-proportionnellement avec la fréquence  $f$  des signaux.

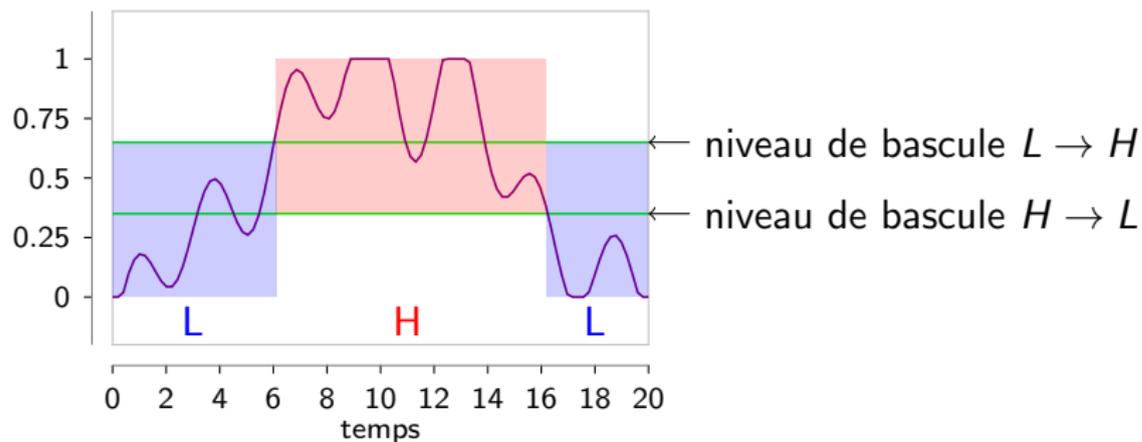
Circuits d'entrée/sortie particuliers

# Entrée trigger de Schmitt

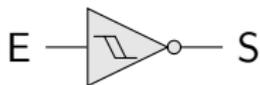
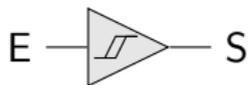
Comportement défini pour une entrée bruitée ou lentement variable

Transition  $L \rightarrow H$  à un niveau  $S_{IH}$

Transition  $H \rightarrow L$  à un niveau  $S_{IL} < S_{IH}$

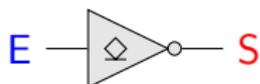


Symboles:



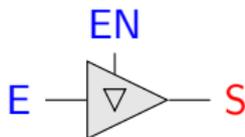
# Sortie collecteur ouvert

- Technologie TTL: collecteur de sortie non relié en interne
- Utilité:
  - ▶ Ajouter la charge la mieux adaptée à l'application
  - ▶ Adaptation de niveau logique
  - ▶ Réalisation d'un AND câblé en sortie



## Sortie trois états: {H, L, high-Z}

- Troisième état: haute impédance
  - ▶ Comme si déconnecté
  - ▶ Anglais: tri-state ou Hi-Z
- Une entrée supplémentaire permet de mettre la sortie dans cet état
- Utilité: Bus de communication
  - ▶ Sorties de plusieurs circuits interconnectées
  - ▶ Tous les circuits en état de haute impédance (comme absents), sauf au plus 1 qui s'approprie la sortie commune (appelée le bus).



| EN | E | S      |
|----|---|--------|
| 0  | 0 | High-Z |
| 0  | 1 | High-Z |
| 1  | 0 | 0      |
| 1  | 1 | 0      |

# Fin du troisième cours

Prochain épisode (quatrième cours) dans quelques instants !

Quinze minutes de pause!