Commande Floue

I. Truck

Commande Floue : Plan

- Introduction
  - Exemple introductif
- bases de la commande floue
  - NON, ET, OU
  - Univers et classes
  - schéma d'une commande floue
- réalisation d'une commande floue
  - structure d'une commande floue
  - cde floue d'un système d'arrosage

Commande Floue : Introduction

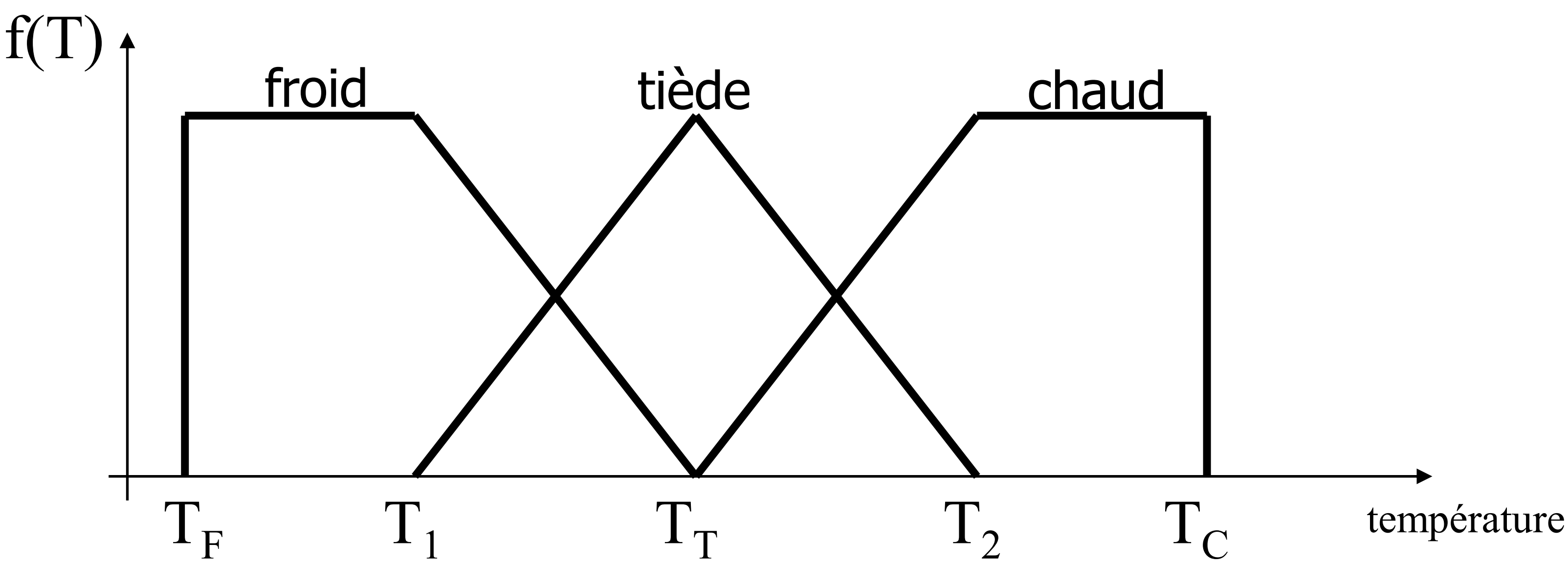
- un des buts principaux de l'IA:
  - reproduire et dépasser performance de l'expert
  - possible lorsque données en E/S sont assez précises et modèle pas trop complexe
- Log. Floue => représentation des connaissances imprécises et incertaines
- Commande Floue => prendre une décision, même si on ne peut estimer les E/S qu'à partir de prédicats flous (vagues, avec erreurs…)
- Un intérêt de cde floue: faire entrer l'expert dans le processus

Commande Floue : Introduction

- Commande floue:
  - ni une panacée, ni une utopie
  - mais outil bien adapté à modélisation des phénomènes ne pouvant être que grossièrement décrits
  - *Importance de la **méthodologie choisie** pour le réglage des paramètres d'un contrôleur flou*
- Exemple introductif
  - Pb: compléter le niveau d'un réservoir rempli d'eau à une température donnée de façon à obtenir une température souhaitée T_T à l'aide d'un mitigeur
  - Eau du réservoir est : chaude, tiède ou froide

Exemple introductif

- commande du mitigeur
  - si eau réservoir froide : mettre eau chaude
  - si eau réservoir tiède : mettre eau tiède
  - si eau réservoir chaude : mettre eau froide
- *Exemple* de répartition des zones de t° en 3 classes:

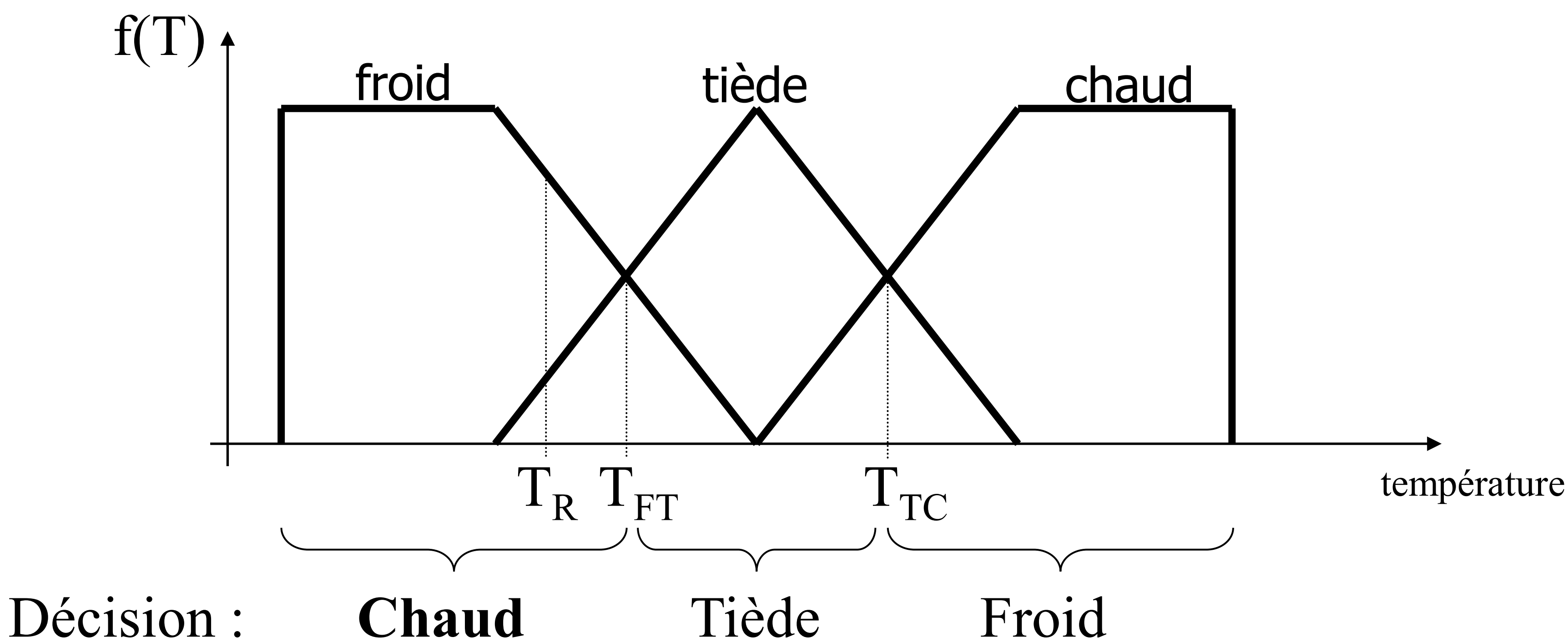


Exemple introductif

- une autre répartition des classes aurait pu être imaginée, un nbre différent de classes…
- Commande floue =
  - choix des classes, de leur nombre et de leur répartition (fuzzification => association variable/SEF)
  - association d'une décision ou commande à chaque classe
  - => travail d'"expert"
- Procédé:
  - on fait une mesure (même imprécise) T_R de la t° d'eau du réservoir
  - Quelle valeur de t° de l'eau d'alimentation doit-on déduire?
  - => plusieurs possibilités : lesquelles ?

Exemple introductif

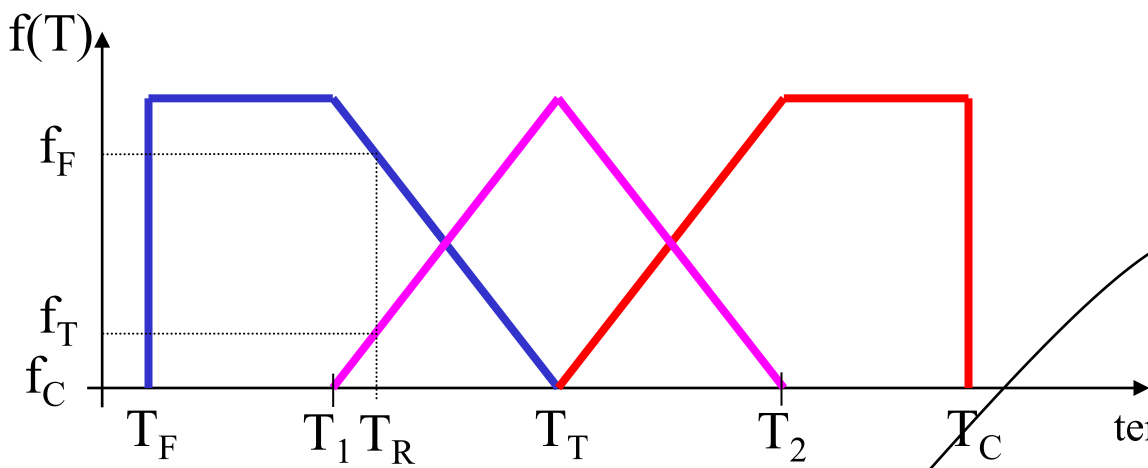
- <u>1ère possibilité</u>:



- Ds cette approche, on ne prend pas vraiment en compte la mesure floue de T_R (“plutôt froide mais un peu tiède”)
- => commande plus nuancée ?

Exemple introductif

- <u>2e possibilité</u>: barycentre
  - notons f_F, f_T et f_C les d° d'appartenance aux 3 classes froid, tiède et chaud



ou T_2

ou T_1

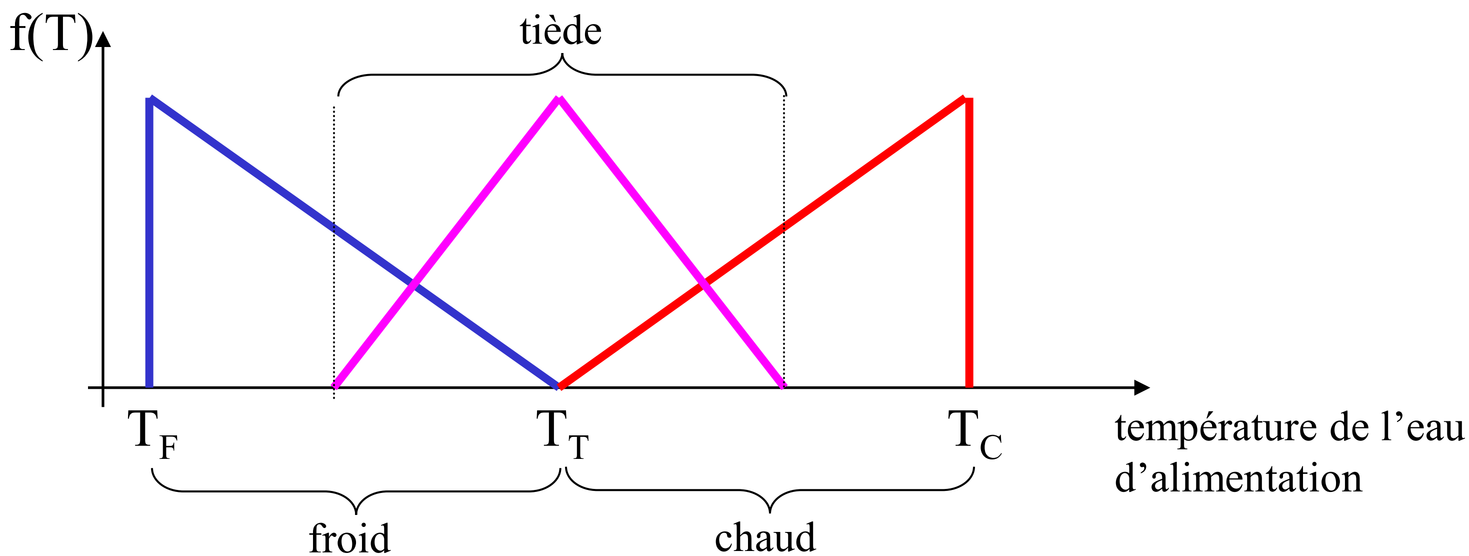
  - température d'alimentation $T_A = \dfrac{T_C\, f_F + T_T\, f_T + T_F\, f_C}{f_F + f_T + f_C}$

$$= \frac{T_C\, f_F + T_T\, f_T}{f_F + f_T}$$

=> eau d'alimentation "un peu tiède et plutôt chaude"

Exemple introductif

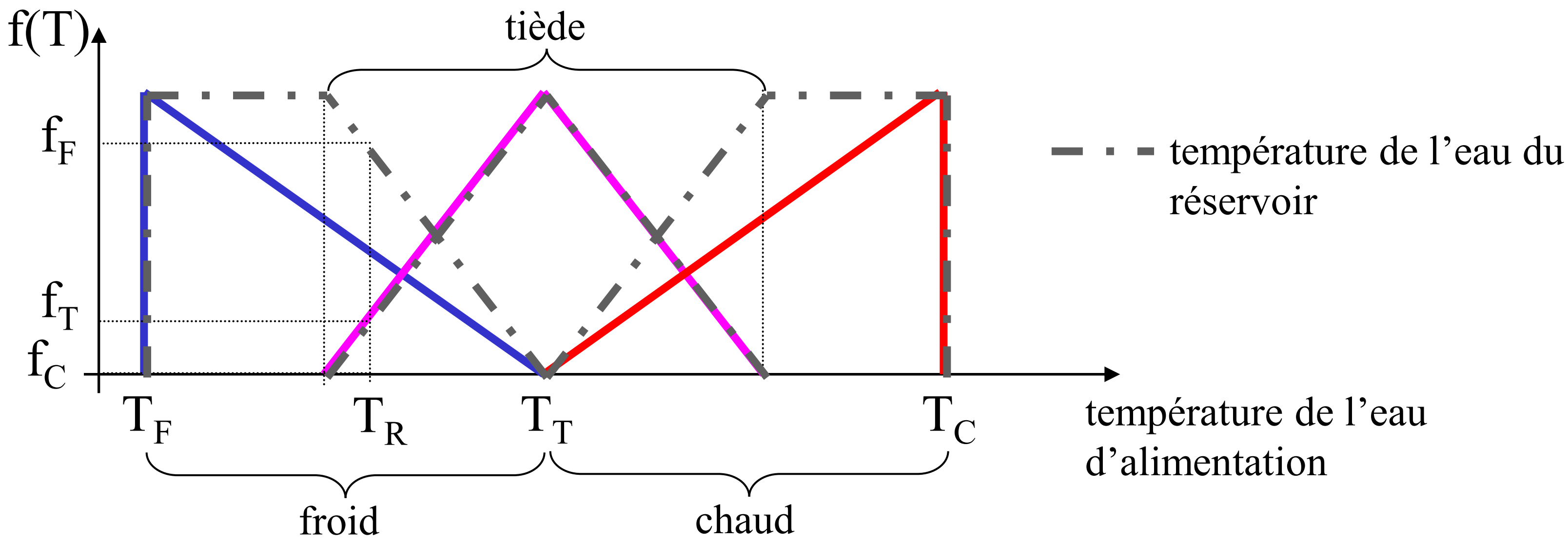
- 3^e possibilité: associer aux classes des t° réservoir, non pas des t° précises, mais *des classes d'appartenance* de t° d'alimentation. Par exemple,



  - il faut ensuite définir des règles associant les 2 ensembles de classes d'appartenance

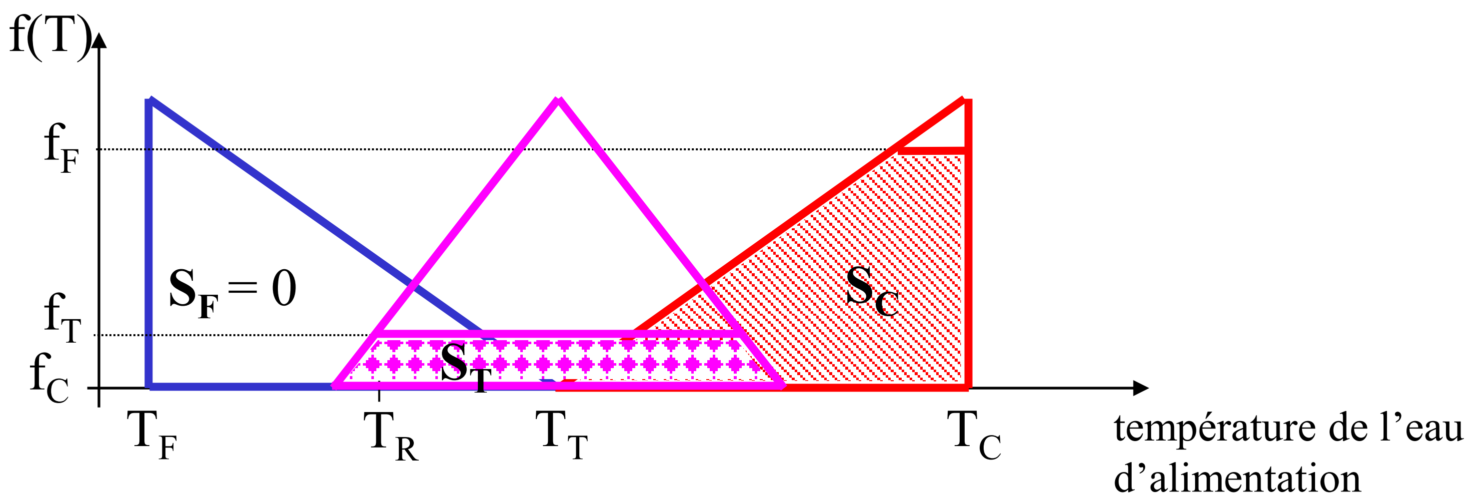
Exemple introductif (3e possibilité – suite)

- Par ex., on peut utiliser les *surfaces* :



Exemple introductif (3e possibilité – fin)

- Par ex., on peut utiliser les *surfaces* :

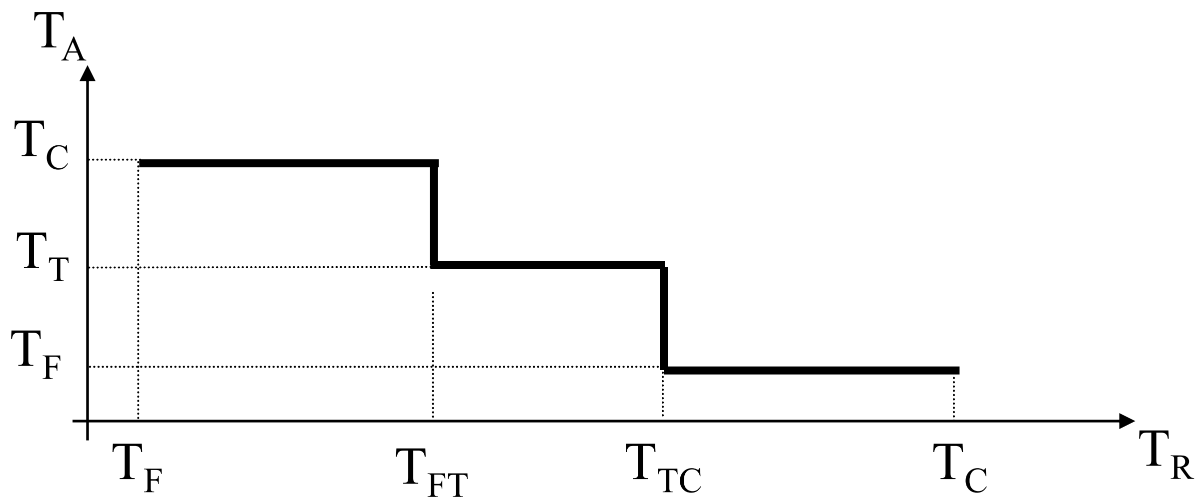


- température d'alimentation $T_A = \dfrac{T_F\,S_F + T_T\,S_T + T_C\,S_C}{S_F + S_T + S_C}$

$$= \frac{T_F\,S_F + T_T\,S_T}{S_T + S_C}$$

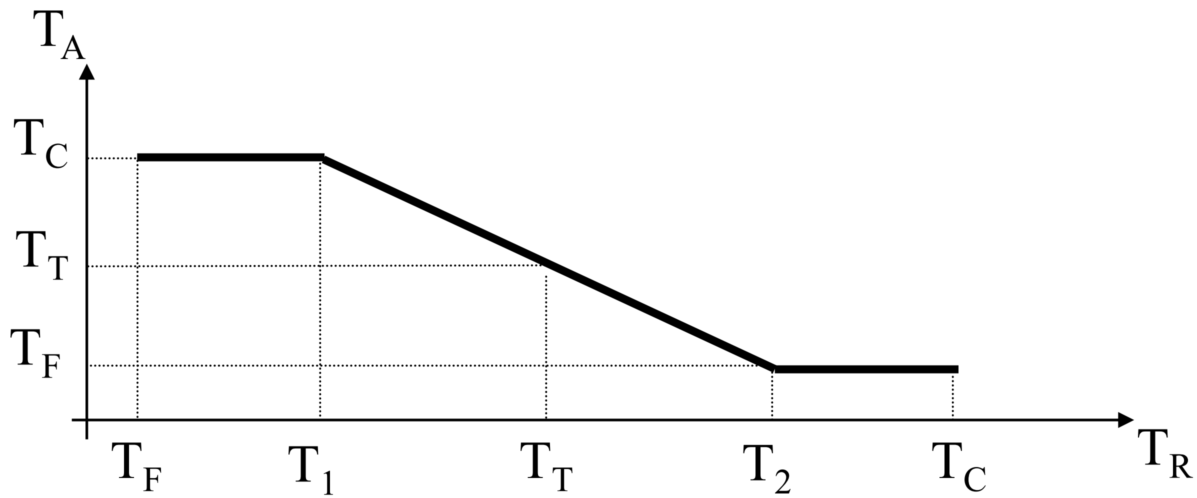
Exemple introductif : récapitulation

- Evolution de T_A en fonction de T_R dans les 3 cas envisagés:
  - choix de la classe d'appartenance la + probable

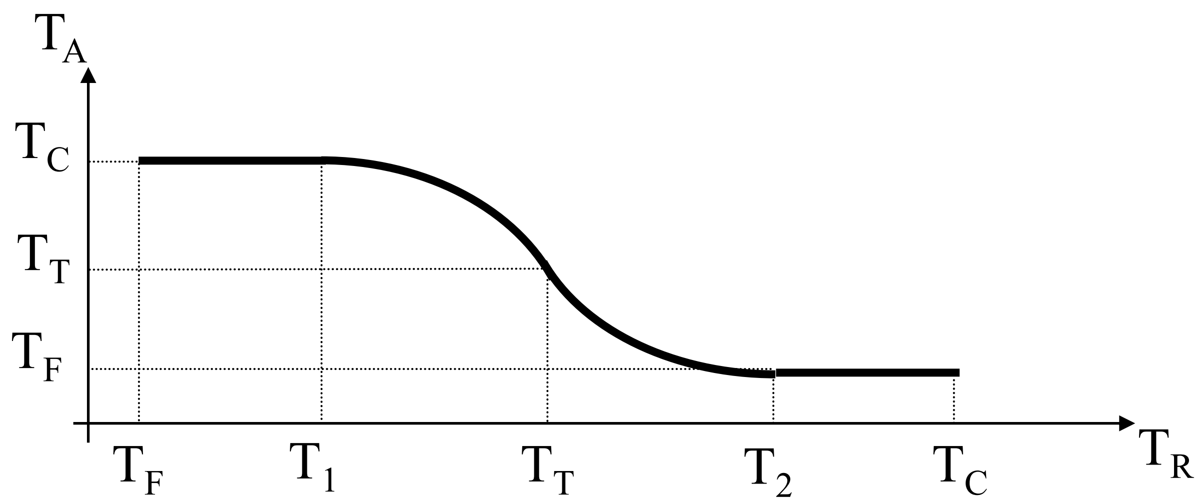


Exemple introductif: récapitulation

- barycentre températures et f^ns d'appartenance



- barycentre températures et surfaces associées aux f^ns d'app.



Exemple introductif: conclusion

- Dans cet exemple, étude de 3 possibilités:
  - t° d'alimentation varie en escalier (cassure nette lors du passage d'une classe à une autre => courbe discontinue)
  - t° d'alimentation varie selon une courbe continue, linéaire par morceaux (variation plus douce de la t° d'alimentation)
  - t° d'alimentation varie selon une courbe lissée

=> *Selon les cas, la 2e ou 3e possibilité peut être acceptable*

Bases de la commande floue

- Opérateurs NON, ET et OU en commande floue
  - NON => complémentaire : $f_{A^C}(x) = 1 - f_A(x), \ \forall\, x \in X$
  - ET *ex: l'air est froid et le vent est fort*
    - $f_C(z) = \min(f_A(x), f_B(y)), \quad \forall\, x \in X$ *ou, éventuellement :*
    - $f_C(z) = f_A(x) \cdot f_B(y), \quad \forall\, x \in X$
  - OU *ex: l'air est froid ou le vent est fort*
    - $f_C(z) = \max(f_A(x), f_B(y)), \quad \forall\, x \in X$ *ou, éventuellement :*
    - $f_C(z) = f_A(x) + f_B(y) - f_A(x) \cdot f_B(y), \quad \forall\, x \in X$

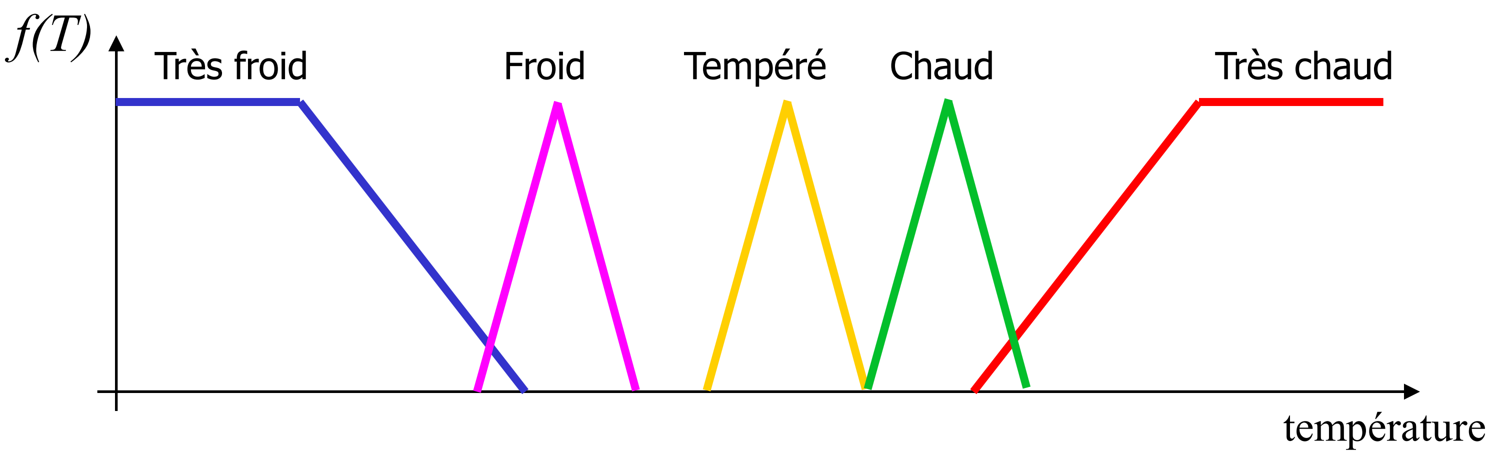
Ces opérateurs sont **duaux** 2 à 2

Bases de la commande floue

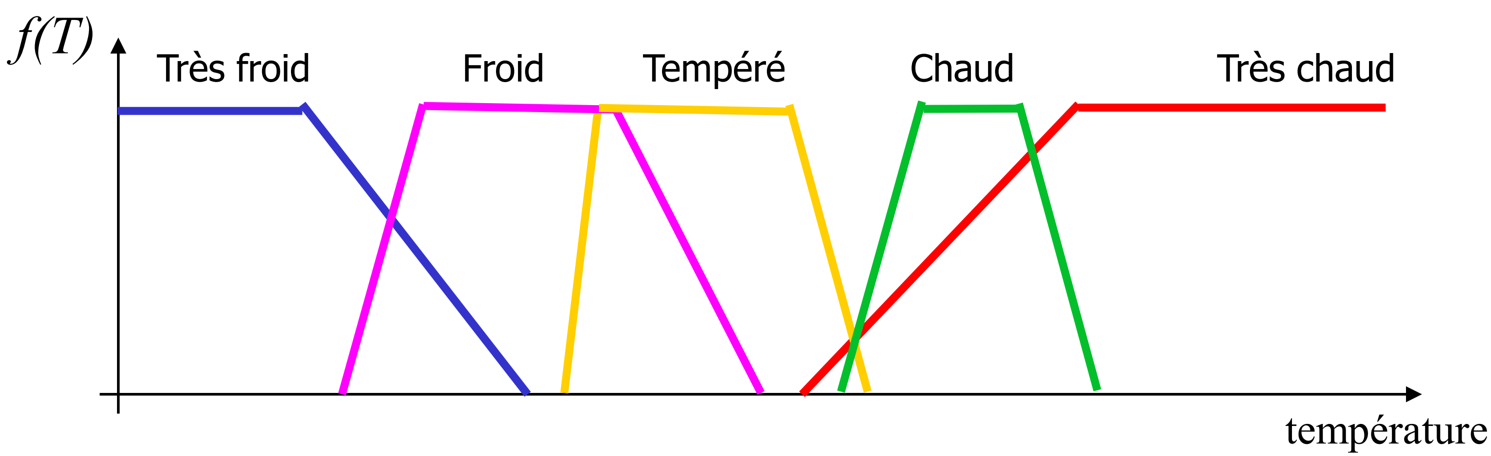
- Univers de discours et classes
  - ens de réf. = univers de discours = domaine de fonctionnement du processus
  - Problème: combien de SEFs sont nécessaires à la commande ? Comment les choisir ?
    - Nbre de SEFs dépend de la façon dont l'expert décrit le psus et de la précision souhaitée
    - En commande, **5 SEFs** est, en général, un bon compromis (ex.: "très froid", "froid", "tempéré", "chaud", "très chaud")
    - intersection de 2 SEFs doit être non nulle (en principe)
    - mais chevauchement ne doit pas être excessif
    - *exemples diapo suivante*

Bases de la commande floue

Chevauchements insuffisants:

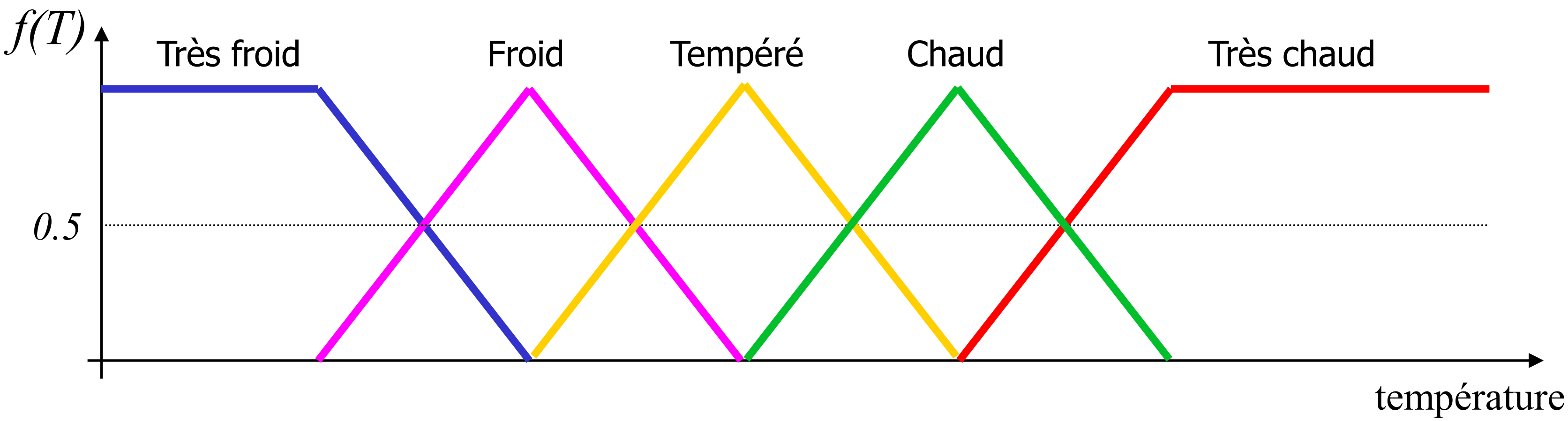


Chevauchements excessifs:



Bases de la commande floue

Bonne répartition des classes :



- schéma d'une commande floue
  - 3 modules
    - traitement des entrées
    - application des règles
    - défuzzification

Bases de la commande floue

- 1er module: traitement des entrées du système
  - définir l'univers (ou les univers) de discours
  - partitionner l' (les) univers en classes pour chaque entrée
    - ex: Bras articulé qui, en fonction de la température, doit ouvrir une fenêtre. Ici, 2 entrées: température et ouverture. La première est exprimée en °C, la deuxième en cm (2 univers).
  - établir les fonctions d'appartenance de chaque classe
  - étape de ***fuzzification***: consiste à attribuer à la valeur réelle d'une entrée donnée, prise à un temps *t*, sa f^{n} d'app. à chacune des classes préalablement définies

  => *transformation de l'entrée réelle en un SEF*

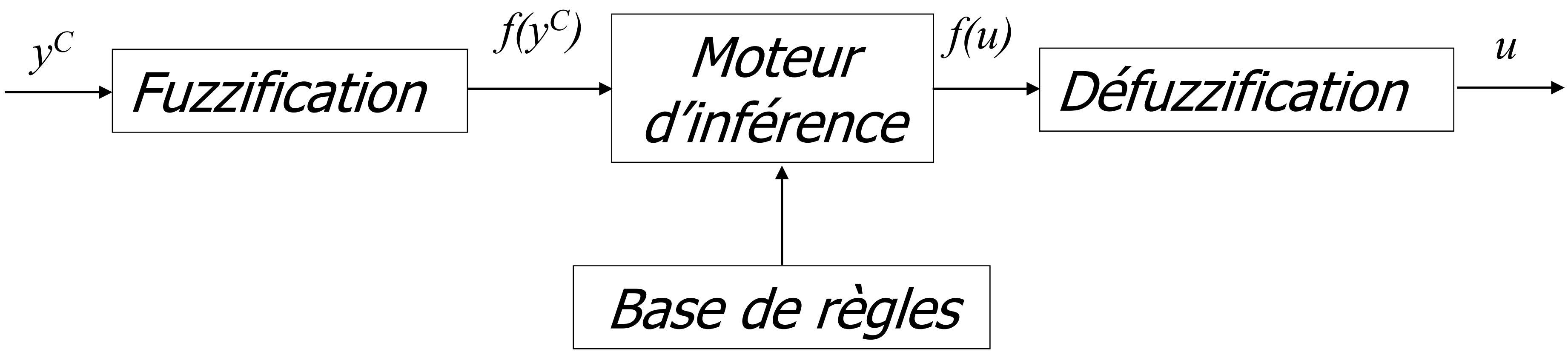
Bases de la commande floue

- 2e module: application des règles
  - règles du type: "*Si température est élevée, alors ouvrir un peu la fenêtre*"
  - règles permettent de passer d'un degré d'appartenance d'une entrée à une degré d'appartenance d'une commande

  => *module constitué d'une base de règles (définies par l'expert) et d'un moteur d'inférence pour le calcul*
- 3e module: défuzzification
  - passage d'un degré d'appartenance d'une commande à la détermination de la valeur à donner à cette commande
  - *ex: "ouvrir un peu la fenêtre" signifiera faire subir au bras une rotation d'axe Oy d'angle 12,4°*

Bases de la commande floue

- Schéma de commande (notations usuelles)



  - y^C : vecteur des entrées
  - u : vecteur des commandes

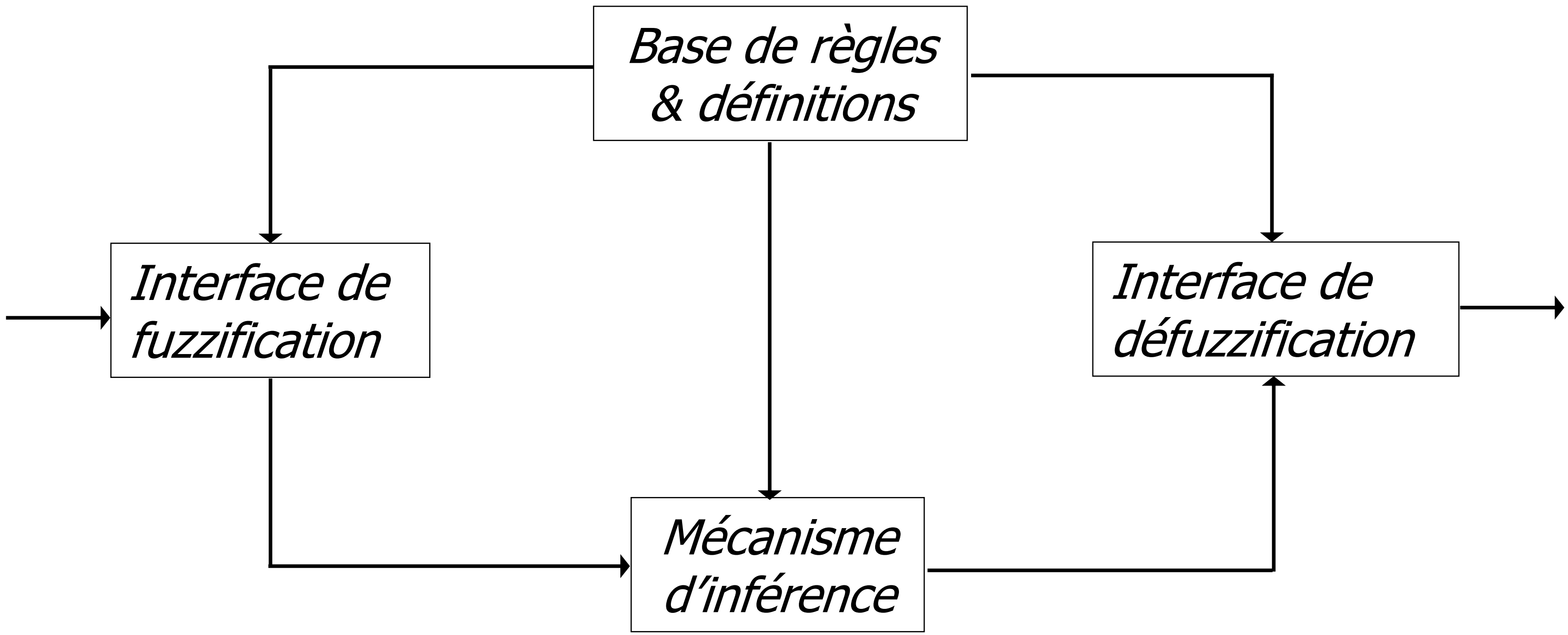
Bases de la commande floue

- Règle floue (RF)
  - règle permettant de passer d'une variable réglante décrite de façon floue à une commande réelle décrite aussi de façon floue
  - une RF transforme un degré d'appartenance en un autre degré d'appartenance
  - *ex: "si la pression est **assez élevée**, ouvrir **un peu** la vanne"*
    - *Soit pression = 2,1 bar*
    - *Degré d'app. de cette valeur au SEF "assez élevé" = 0,7*

    => La RF donne un degré de 0,6 pour le SEF "ouvrir"

Réalisation d'une commande floue

- Structure d'une commande floue

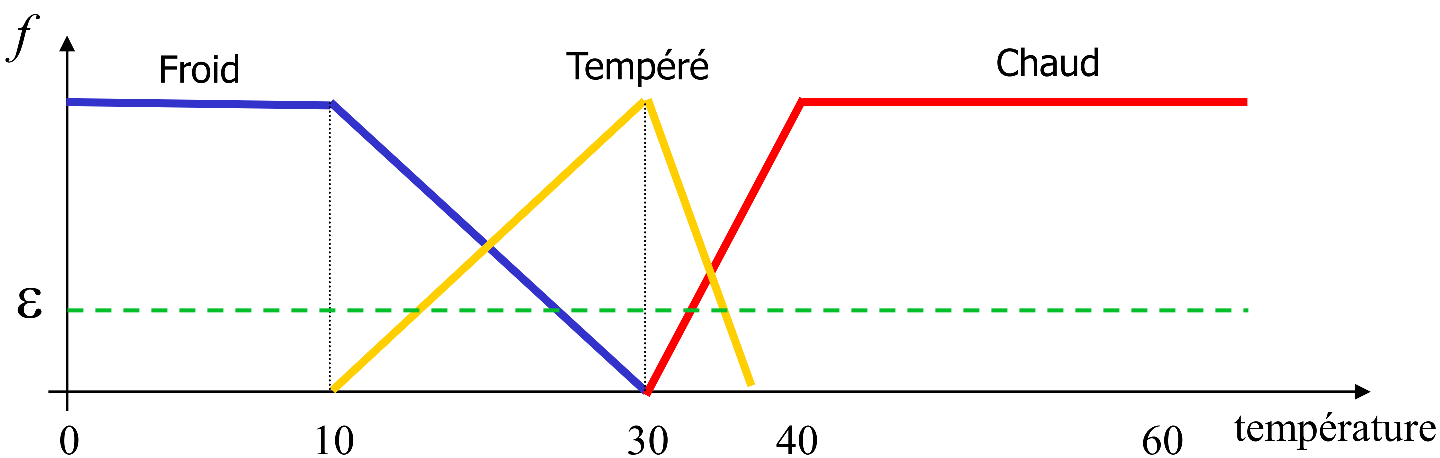


- 4 entités distinctes (développées ds diapos suivantes)

Réalisation d'une commande floue

- Bases de règles et définitions
  - définir l'univers de discours X, la partition floue…
  - partition floue : consiste à définir n SEFs F_i de façon à recouvrir X. Càd que pour tout x de X, il faut assurer une appartenance minimale ε à l'union des SEFs :

$$\forall x \in X, \quad f_{F_1}(x) \vee \ldots \vee f_{F_i}(x) \vee \ldots \vee f_{F_n}(x) \geq \varepsilon$$



  - + le nbre de SEFs ds une partition est important, + il y a de classes, et + la commande est sensible.

Réalisation d'une commande floue

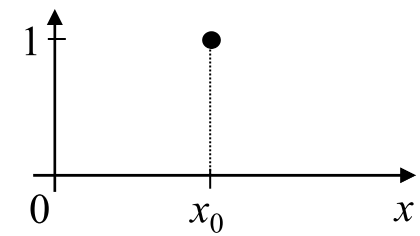
- Bases de règles et définitions (suite)
  - base de règles :
    - caractérise les relations entre les classes d'événements possibles en entrée et les commandes correspondantes
    - syst. de règles doit être *consistant* (non contradictoire !)
    - nombre de règles : soient n le nbre d'univers et m le nbre de classes dans chaque univers. Le *nombre max de règles* est:

$$\prod_{i=1}^{n} m_i$$

    - *NB*: nbre ***maximum*** puisque
      - toutes les possibilités n'ont pas forcément de sens. *Ex: en freinage automatique, la prémisse : "vitesse très élevée ET distance de l'obstacle nulle" n'a pas de sens*
      - certaines configurations (prémisses) mènent à la même conclusion

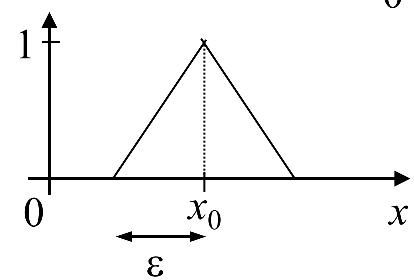
Réalisation d'une commande floue

- Interface de fuzzification
  - => associer à une mesure de la var. x_0 une f^{n} d'app.
  - Comment choisir l'opérateur de fuzzification ?
    - Si mesure est exacte, précise => *singleton*

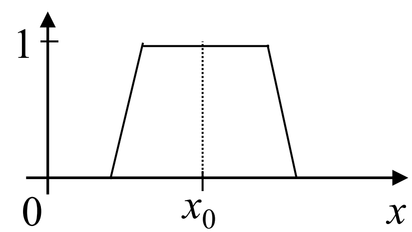


    - sinon, SEF triangulaire

$$f_{x_0}(x) = \max\left[0,\ 1 - \frac{|x - x_0|}{\varepsilon}\right]$$



    - ou trapézoïdal...



Réalisation d'une commande floue

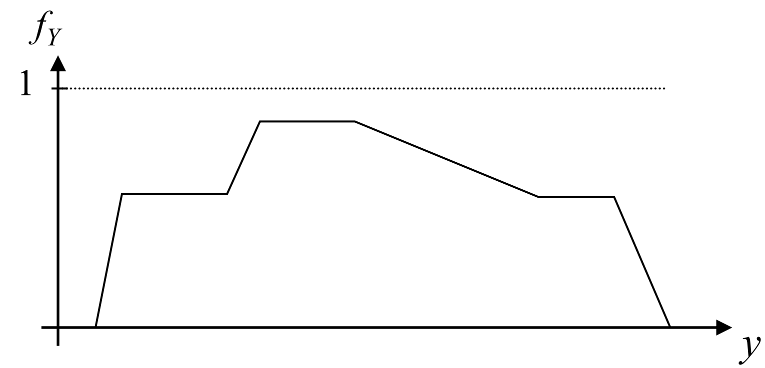
- Mécanisme d'inférence
  - base de règles + SEF X_0 (f^{n} d'app. de la var. x_0) = SEF Y relatif à la commande
  - Plus précisément, on a m règles de type:
    - $\boldsymbol{R_i}$ **: SI $\boldsymbol{x_1}$ est $\boldsymbol{X_{i,1}}$ ET … ET $\boldsymbol{x_n}$ est $\boldsymbol{X_{i,n}}$ ALORS $\boldsymbol{y}$ est $\boldsymbol{Y_i}$**
    - avec $X_{i,j}$ le SEF de la $j^{\text{ème}}$ composante du vecteur de mesure des entrées pour la règle R_i
    - et avec Y_i le SEF de la commande pour la règle R_i
  - utilisation de l'opérateur d'inférence sur l'union des m règles

$$f_Y(y) = \sup\left(f_{X_0}(x) \otimes (f_{R_1}(x,y) \vee \ldots \vee f_{R_n}(x,y)) \right)$$

    - avec $f_{R_i}(x,y) = (f_{X_{1,j}}(x_1) \wedge \ldots \wedge f_{X_{n,j}}(x_n)) * f_{Y_i}(y)$
    - et avec $\otimes$ et $*$ des extensions d'intersection, càd $\otimes$: produit cartésien et $*$: implication floue. On peut, par ex., prendre min pour $\otimes$ et $*$

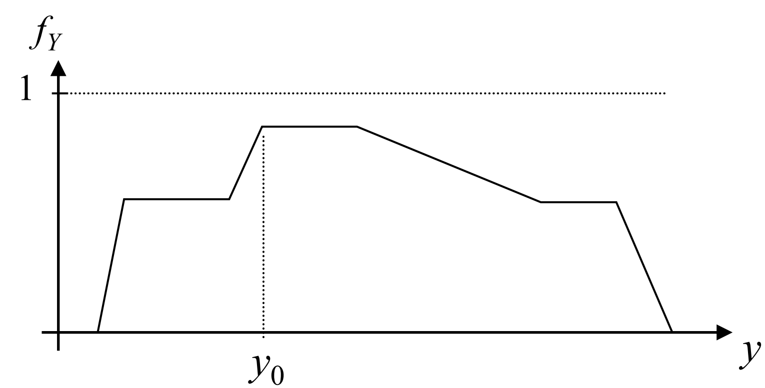
Réalisation d'une commande floue

- Interface de défuzzification
  - SEF résultat => valeur non floue
  - Soit le SEF résultat *Y* suivant:



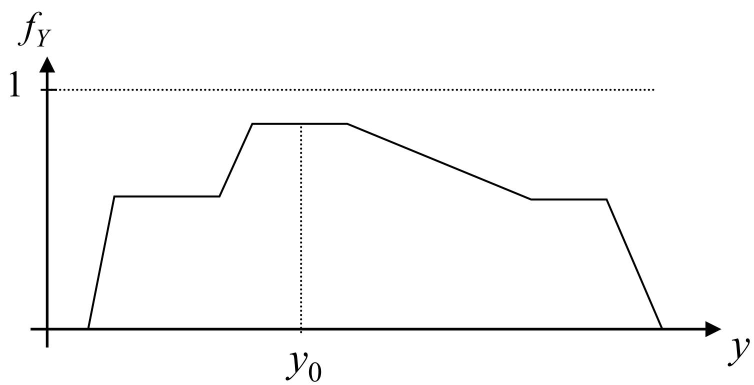
  - 1ère méthode de défuzzification: *principe du maximum*

$$D(Y) = y_0 \,/\, f_Y(y_0) = \sup\,(f_Y(y))$$



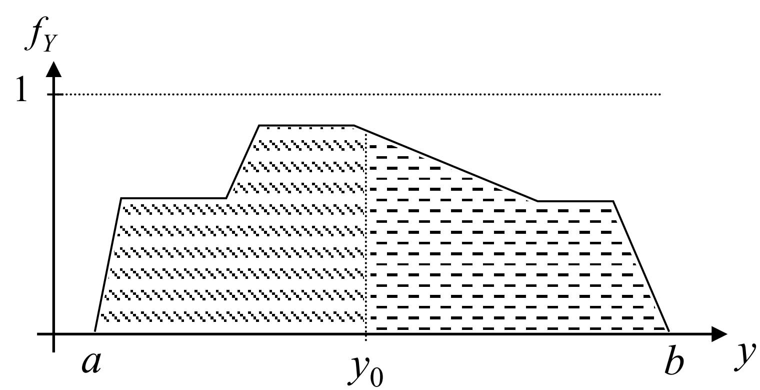
Réalisation d'une commande floue

- $2^{\text{ème}}$ méthode de défuzzification: *moyenne des maxima*



- $3^{\text{ème}}$ méthode de défuzzification: *égalité des intégrales*

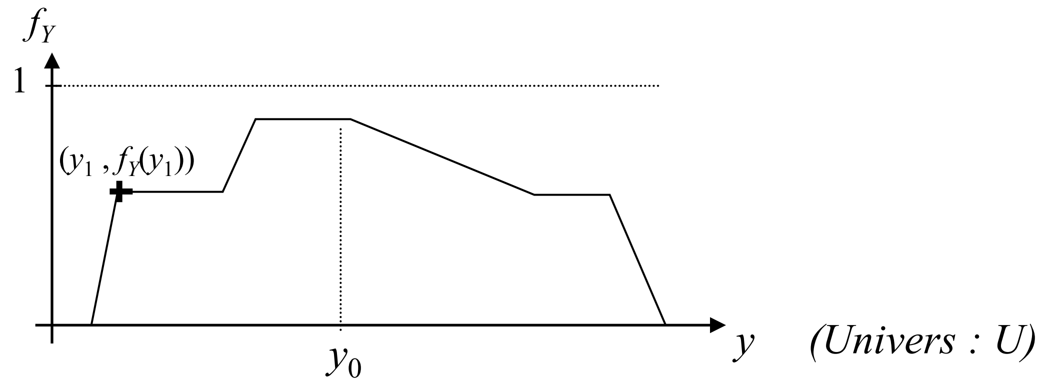
$$D(Y) = y_0 \;/\; \int_a^{y_0} f_Y(y)\,\mathrm{d}y = \int_{y_0}^{b} f_Y(y)\,\mathrm{d}y$$



Réalisation d'une commande floue

- 4ème méthode de défuzzification: *barycentre*

$$D(Y) = y_0 = \frac{\int_U y . f_Y(y) \mathrm{d}y}{\int_U f_Y(y) \mathrm{d}y}$$



  - si le SEF est composé de η fonctions affines, alors :

$$D(Y) = y_0 = \frac{\sum_{i=1}^{\eta} (y_{i+1} - y_i)\,[(2\,y_{i+1} + y_i)\,f_Y(y_{i+1}) + (2\,y_i + y_{i+1})\,f_Y(y_i)]}{3 \sum_{i=1}^{\eta} (y_{i+1} - y_i)\,(f_Y(y_{i+1}) + f_Y(y_i))}$$

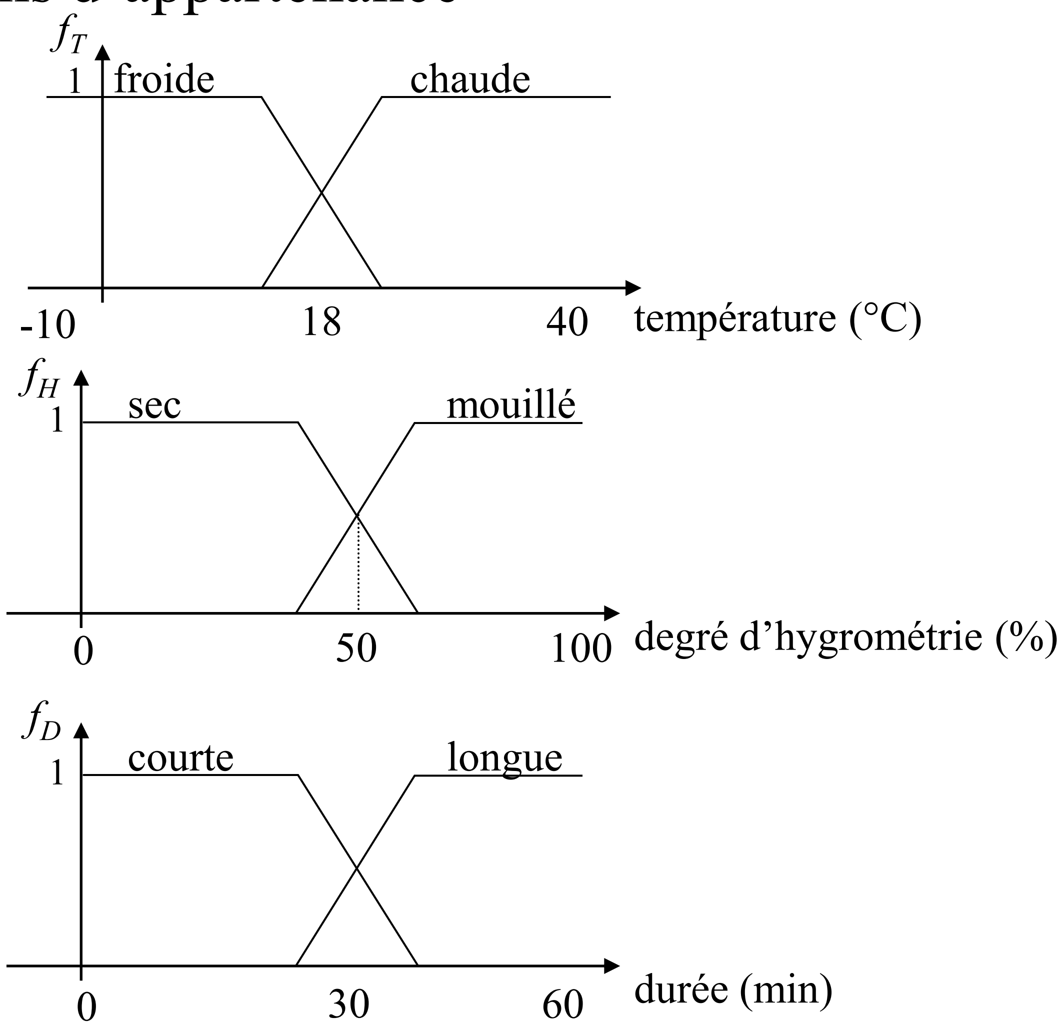
avec $(y_i , f_Y(y_i))$ les coord. des points d'intersection des droites

Réalisation d'une commande floue

- Cde floue d'un système d'arrosage automatique
  - entrées :
    - *température air*
    - *humidité ambiante*
  - sortie : *durée d'arrosage*
  - univers : *températures (U1); degrés d'hygrométrie (U2) ; durées (U3)*
  - classes (simplifiées) :
    - *U1* (t°) : froide, chaude (2 classes pour simplifier)
    - *U2* (degré d'hygrométrie) : sec, mouillé
    - *U3* (durée d'arrosage) : courte, longue

Réalisation d’une commande floue

- Fonctions d’appartenance



Réalisation d’une commande floue

- Règles:
  - R_1 : Si la température est chaude ET le sol sec ALORS la durée d'arrosage est longue
  - R_2 : Si la température est froide ET le sol mouillé ALORS la durée d'arrosage est courte
  - R_3 : Si la température est chaude ET le sol mouillé ALORS la durée d'arrosage est courte
  - R_4 : Si la température est froide ET le sol sec ALORS la durée d'arrosage est longue
- Entrées:
  - mesure de t° : $t_0 = 23°C$
  - mesure d’humidité dans l’air : $h_0 = 42$ %
- Fuzzification des entrées
  - mesures des entrées supposées exactes donc *singleton*

Réalisation d'une commande floue

- Construction graphique de la sortie de la commande floue

  1) Pour chaque règle, définir $f_T(t_0)$ et $f_H(h_0)$

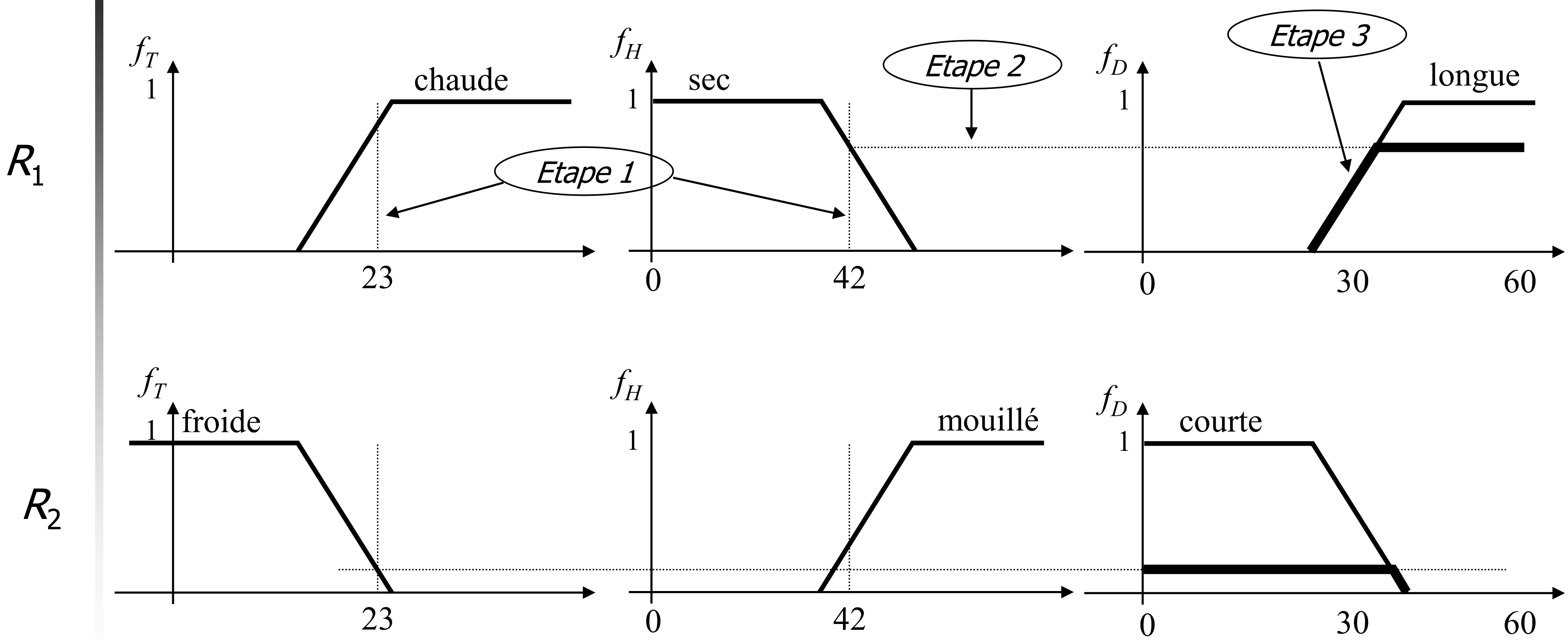
  2) Reporter le minimum des 2 valeurs sur le SEF *D* de la sortie (opérateur d'intersection: fonction *min*)

  3) construire la cde floue élémentaire de la règle R_i (implication floue et mécanisme d'inférence)

  4) prendre le maximum des solutions élémentaires (agrégation des règles par utilisation de l'opérateur d'union)

  5) défuzzifier le SEF obtenu : obtention de y_0 par égalité des intégrales

Réalisation d'une commande floue



Réalisation d'une commande floue