

# Traitements de l'urine et urinofertilisants

*Tristan Martin, Fabien Esculier, Florent Levavasseur, Sabine Houot*

# Traitements de l'urine et urinofertilisants

*Tristan Martin, Fabien Esculier, Florent Levavasseur, Sabine Houot*

**Quelles caractéristiques des traitements et urinofertilisants ?**

# Traitements de l'urine et urinofertilisants

*Tristan Martin, Fabien Esculier, Florent Levavasseur, Sabine Houot*

## **Quelles caractéristiques des traitements et urinofertilisants ?**

→ Revue bibliographique

→ Publication:

Martin et al., 2020. ***Human urine-based fertilizers: A review.*** *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*

# Caractéristiques de l'urine

2

## Azote :

→ Azote excrété  
majoritairement sous  
forme **urée**

Urine fraîche =

**N uréique**



pH 6

# Caractéristiques de l'urine

2

## Azote :

- Azote excrété majoritairement sous forme **urée**
- Hydrolyse de l'urée en **N ammoniacal**

Urine fraîche =

**N uréique**



pH 6

→

Urine stockée =

**N ammoniacal**

pH 9

# Caractéristiques de l'urine

2

## Azote :

- Azote excrété majoritairement sous forme **urée**
- Hydrolyse de l'urée en **N ammoniacal**

Urine fraîche =

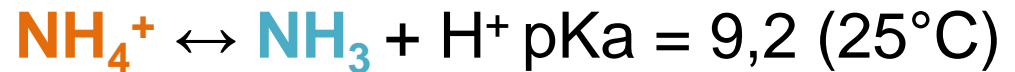
**N uréique**



pH 6

→

pH 9



Urine stockée =

**N ammoniacal**

# Caractéristiques de l'urine

2

## Azote :

- Azote excrété majoritairement sous forme **urée**
- Hydrolyse de l'urée en **N ammoniacal**

## Autres nutriments

- P, K,  $\mu$ nutriments, ...

Urine fraîche =

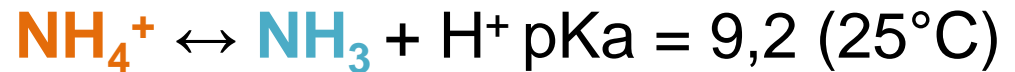
**N uréique**



pH 6

→

pH 9



Urine stockée =

**N ammoniacal**

# Caractéristiques de l'urine

2

## Azote :

- Azote excrété majoritairement sous forme **urée**
- Hydrolyse de l'urée en **N ammoniacal**

## Autres nutriments

- P, K,  $\mu$ nutriments, ...

## Contaminants :

- Peu de pathogènes mais contamination croisée possible

(Höglund, 1998)

Urine fraîche =

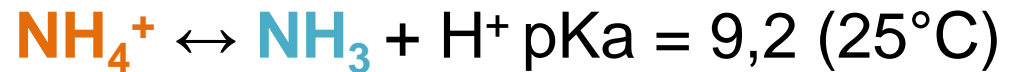
**N uréique**



pH 6

→

pH 9



Urine stockée =

**N ammoniacal**



(Johansson, 2000)



# Caractéristiques de l'urine

## Azote :

- Azote excrété majoritairement sous forme **urée**
- Hydrolyse de l'urée en **N ammoniacal**

Urine fraîche =

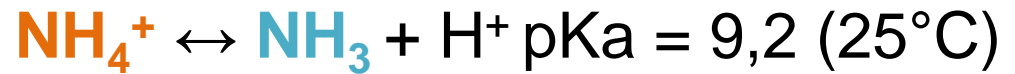
**N uréique**



pH 6

→

pH 9



Urine stockée =

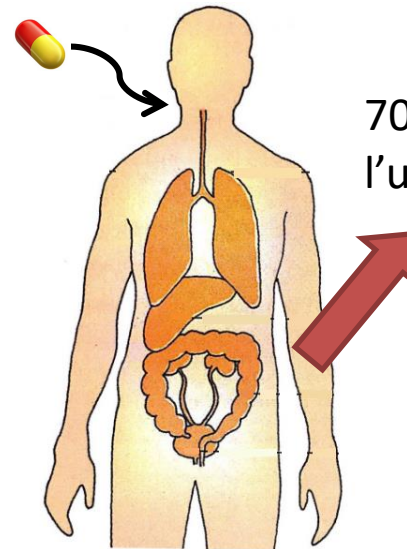
**N ammoniacal**

## Autres nutriments

- P, K, μnutriments, ...

## Contaminants :

- Peu de pathogènes mais contamination croisée possible  
(Höglund, 1998)
- Micropolluants organiques dont pharmaceutiques  
(Lienert, 2007)



70 % dans l'urine



(Johansson, 2000)

# Caractéristiques de l'urine

2

## Azote :

- Azote excrété majoritairement sous forme **urée**
- Hydrolyse de l'urée en **N ammoniacal**

Urine fraîche =

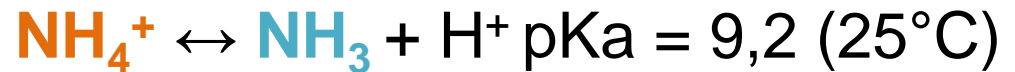
**N uréique**



pH 6

→

pH 9



Urine stockée =

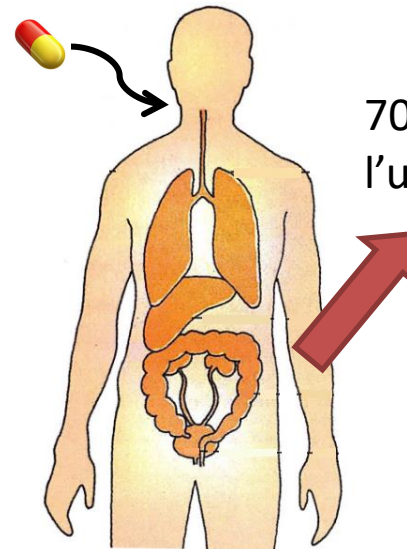
**N ammoniacal**

## Autres nutriments

- P, K,  $\mu$ nutriments, ...

## Contaminants :

- Peu de pathogènes mais contamination croisée possible  
(Höglund, 1998)
- Micropolluants organiques dont pharmaceutiques  
(Lienert, 2007)
- Concentrations très faibles en métaux  
(Ronteltap, 2007)



70 % dans l'urine



(Johansson, 2000)

# Pourquoi traiter l'urine ?

3

Stockage : **Urée**  $\rightarrow$  **NH<sub>4</sub><sup>+</sup>**  $\leftrightarrow$  **NH<sub>3</sub>** + H<sup>+</sup>

**1/ Stabilisation de l'azote**

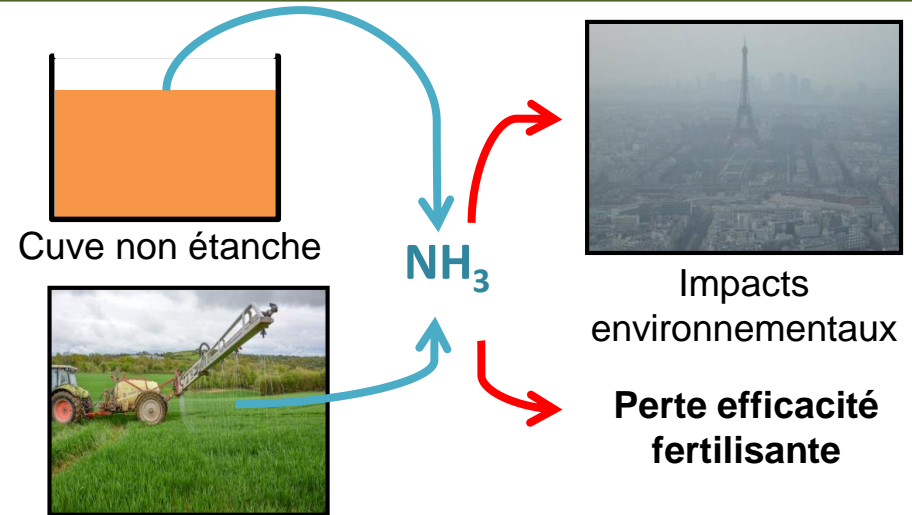
# Pourquoi traiter l'urine ?

3

Stockage : **Urée**  $\rightarrow$   $\text{NH}_4^+$   $\leftrightarrow$   $\text{NH}_3 + \text{H}^+$

## 1/ Stabilisation de l'azote

- $\rightarrow$  Limite la volatilisation et les odeurs
- $\rightarrow$  Permet la réduction du volume



# Pourquoi traiter l'urine ?

3

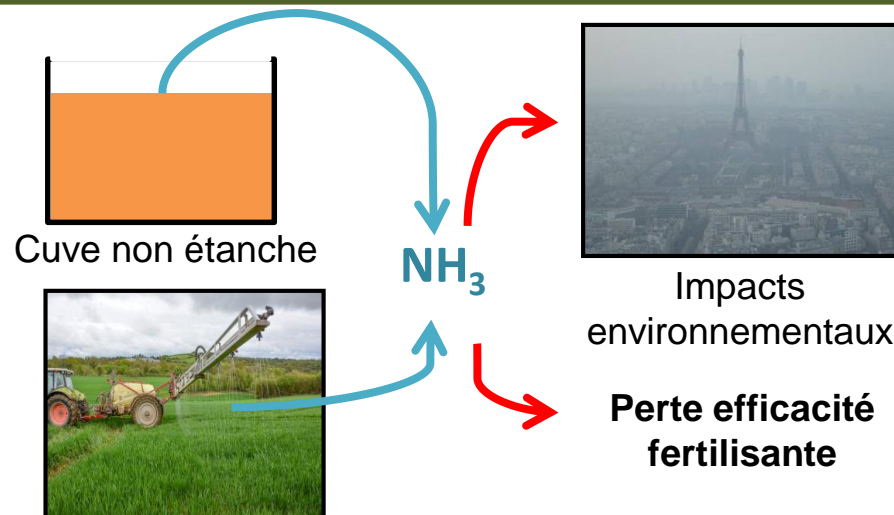
Stockage : **Urée**  $\rightarrow$   $\text{NH}_4^+$   $\leftrightarrow$   $\text{NH}_3 + \text{H}^+$

## 1/ Stabilisation de l'azote

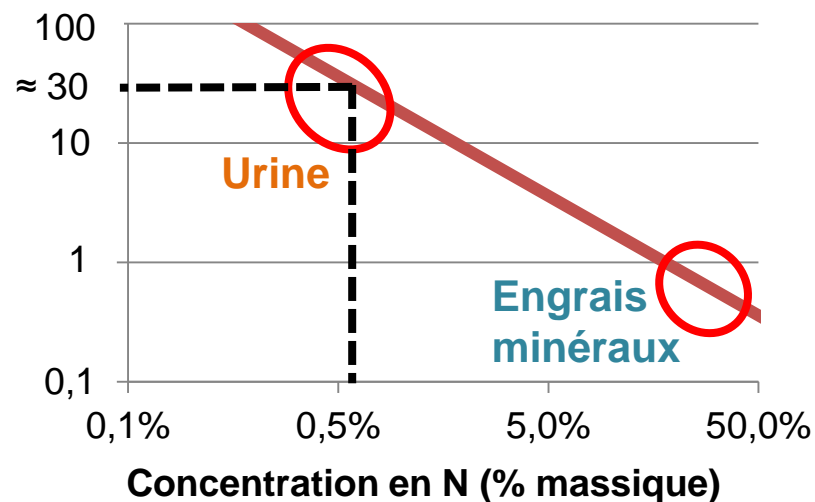
- $\rightarrow$  Limite la volatilisation et les odeurs
- $\rightarrow$  Permet la réduction du volume

## 2/ Réduction du volume

- $\rightarrow$  Faible concentration en azote
- $\rightarrow$  Volumes importants à transporter et épandre



Quantité pour apporter 180 kg N/ha  
(T/ha)



# Pourquoi traiter l'urine ?

Stockage : **Urée**  $\rightarrow$   $\text{NH}_4^+$   $\leftrightarrow$   $\text{NH}_3 + \text{H}^+$

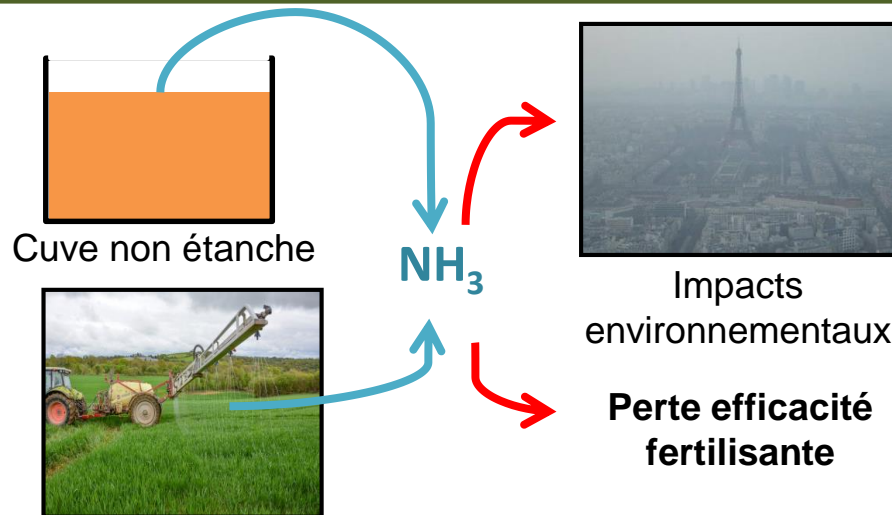
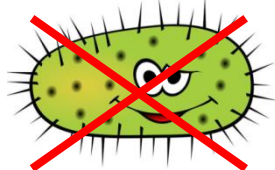
## 1/ Stabilisation de l'azote

- Limite la volatilisation et les odeurs
- Permet la réduction du volume

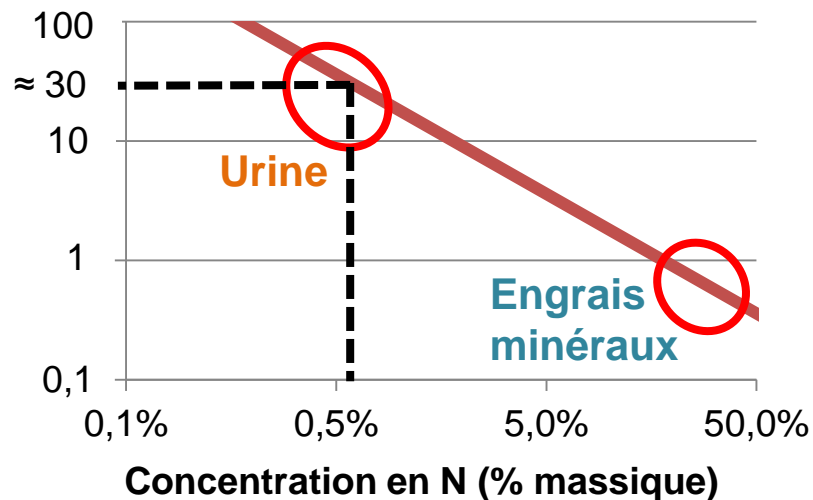
## 2/ Réduction du volume

- Faible concentration en azote
- Volumes importants à transporter et épandre

## 3/ Traitement des contaminants



Quantité pour apporter 180 kg N/ha  
(T/ha)



# Pourquoi traiter l'urine ?

Stockage : **Urée**  $\rightarrow$   $\text{NH}_4^+$   $\leftrightarrow$   $\text{NH}_3 + \text{H}^+$

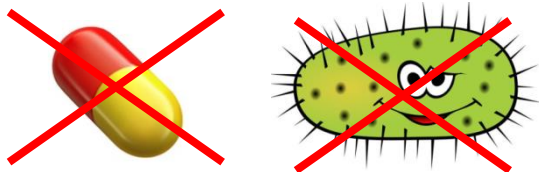
## 1/ Stabilisation de l'azote

- Limite la volatilisation et les odeurs
- Permet la réduction du volume

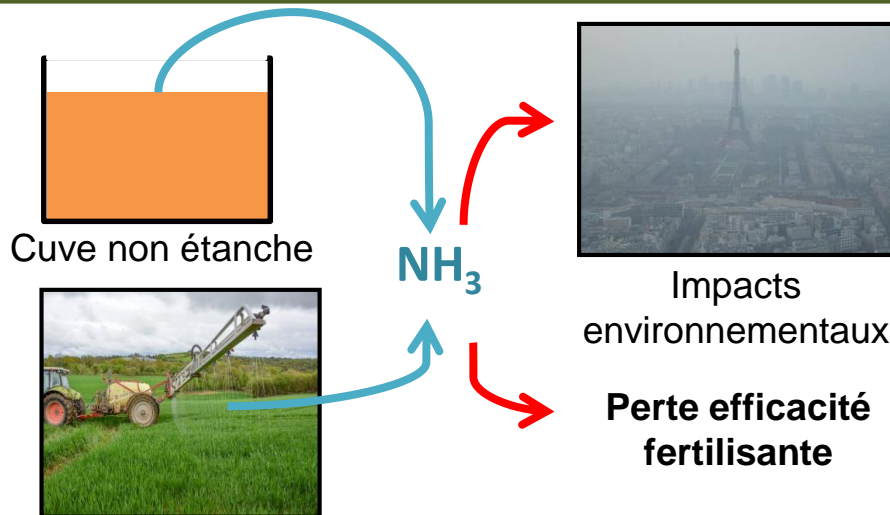
## 2/ Réduction du volume

- Faible concentration en azote
- Volumes importants à transporter et épandre

## 3/ Traitement des contaminants



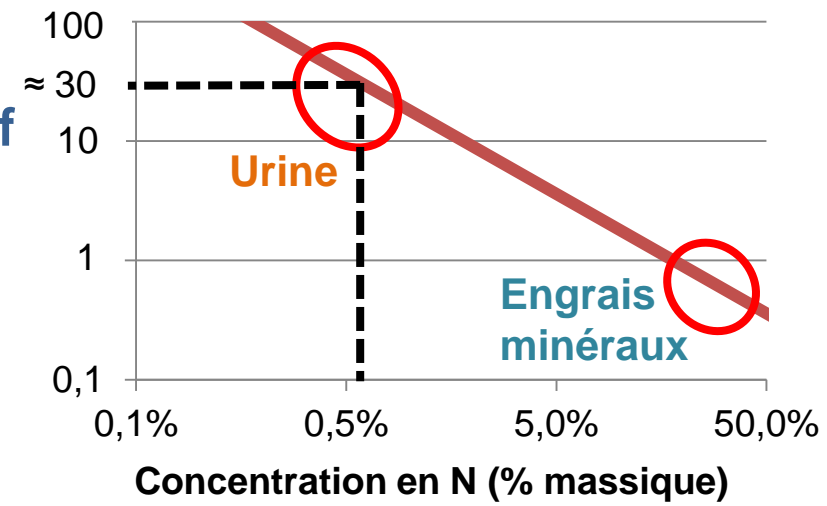
## 4/ Extraction des nutriments



Conservatif

Extractif

Quantité pour apporter 180 kg N/ha (T/ha)



# Stabilisation de l'azote

Urine fraîche → **Urée**

Urine stockée → **N ammoniacal**

**Urine  
fraîche**



**Urine  
stockée**





# Stabilisation de l'azote

4

Urine fraîche → **Urée**

Urine stockée → **N ammoniacal**

Traitements de l'urine stockée :

Acidification :

→ Urine stockée < pH 6,5  
(**NH<sub>4</sub><sup>+</sup>**)

→ 30 g H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/L

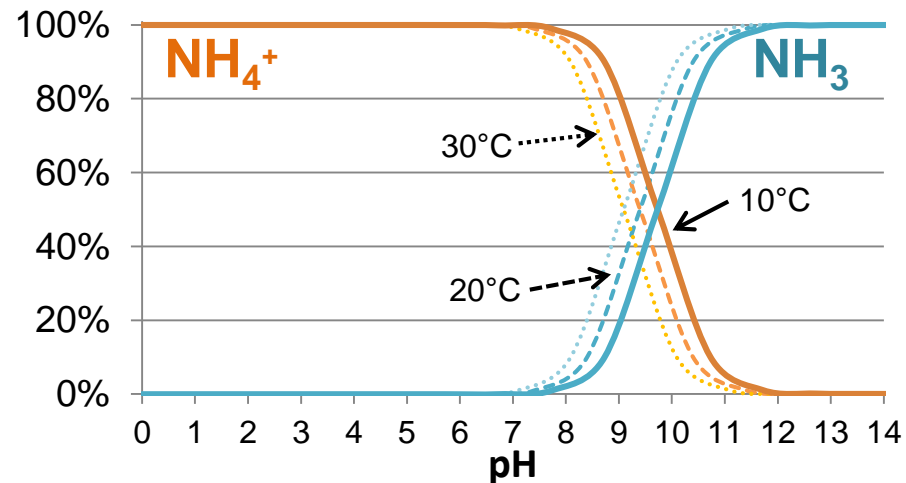
Urine  
fraîche



Urine  
stockée



Proportion relative forme azotée



pKa = 9,25 à 25°C

# Stabilisation de l'azote

Urine fraîche → **Urée**

Urine stockée → **N ammoniacal**

## Traitements de l'urine stockée :

Acidification :

→ Urine stockée < pH 6,5  
(**NH<sub>4</sub><sup>+</sup>**)

→ 30 g H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/L

Nitrification :

**NH<sub>4</sub><sup>+</sup>** → **NO<sub>3</sub><sup>-</sup>**

→ Nitrification biologique

→ Bactéries +  
oxygénation

Urine  
fraîche

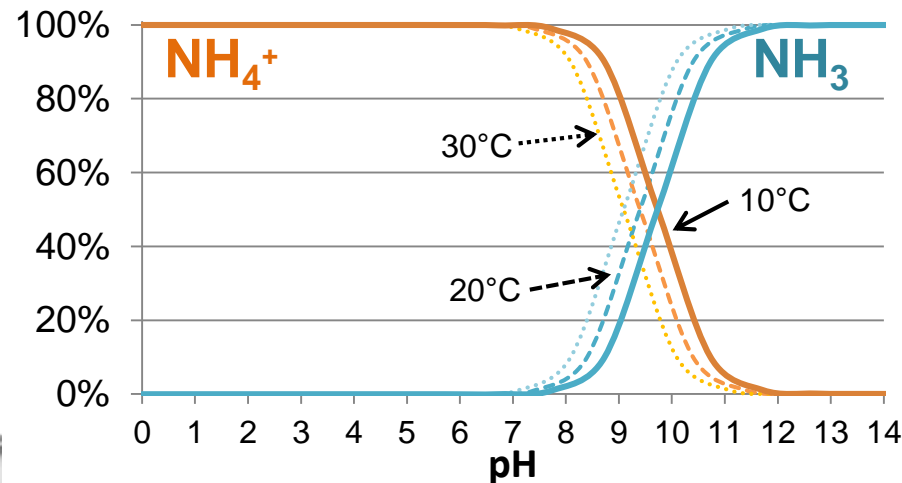


Urine  
stockée



(Vuna, 2020)

Proportion relative forme azotée

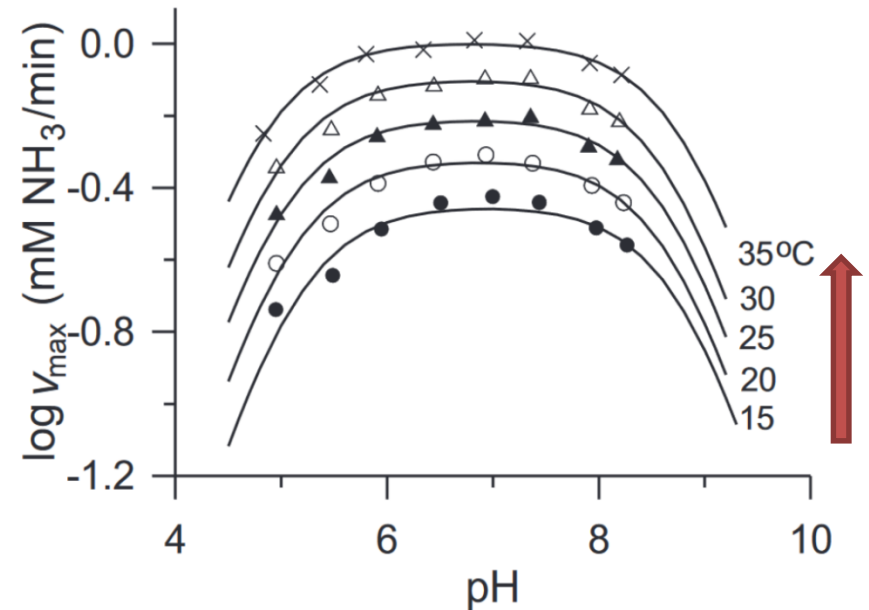


pKa = 9,25 à 25°C

# Stabilisation de l'azote

Traitements de l'urine fraîche :

Activité enzyme uréase :



(Krajewska, 2016)



Température



pH < 4 ou pH > 10-11

# Stabilisation de l'azote

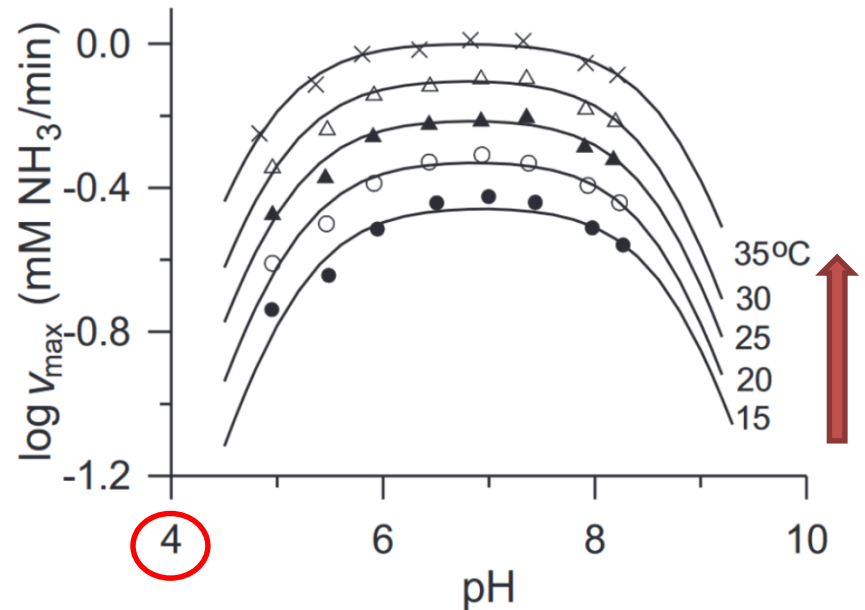
Traitements de l'urine fraîche :

Acidification :

→ Urine fraîche < pH 4 (**Urée**)

→ 3 g H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/L urine  
ou fermentation

Activité enzyme uréase :



(Krajewska, 2016)



Température



pH < 4 ou pH > 10-11

# Stabilisation de l'azote

## Traitements de l'urine fraîche :

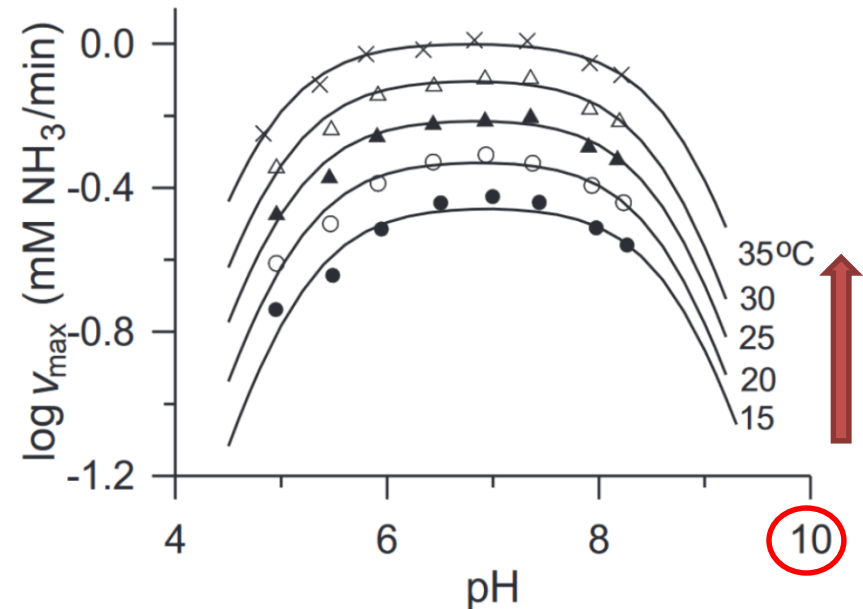
### Acidification :

- Urine fraîche < pH 4 (**Urée**)
- 3 g H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/L urine ou fermentation

### Alcalinisation :

- Urine fraîche > pH 11 (**Urée**)
- 10 g chaux/L urine

## Activité enzyme uréase :



(Krajewska, 2016)



Température



pH < 4 ou pH > 10-11

# Stabilisation de l'azote

5

## Traitements de l'urine fraîche :

### Acidification :

- Urine fraîche < pH 4 (**Urée**)
- 3 g H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/L urine ou fermentation

### Alcalinisation :

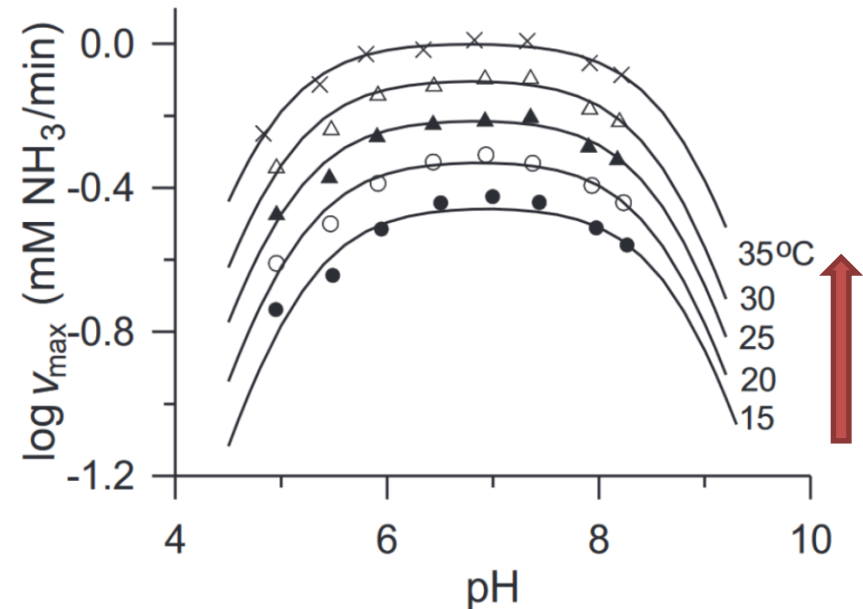
- Urine fraîche > pH 11 (**Urée**)
- 10 g chaux/L urine

## Mélange avec matière organique :

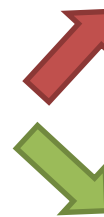
- Imprégnation
- Adsorption
- Organisation



## Activité enzyme uréase :



(Krajewska, 2016)

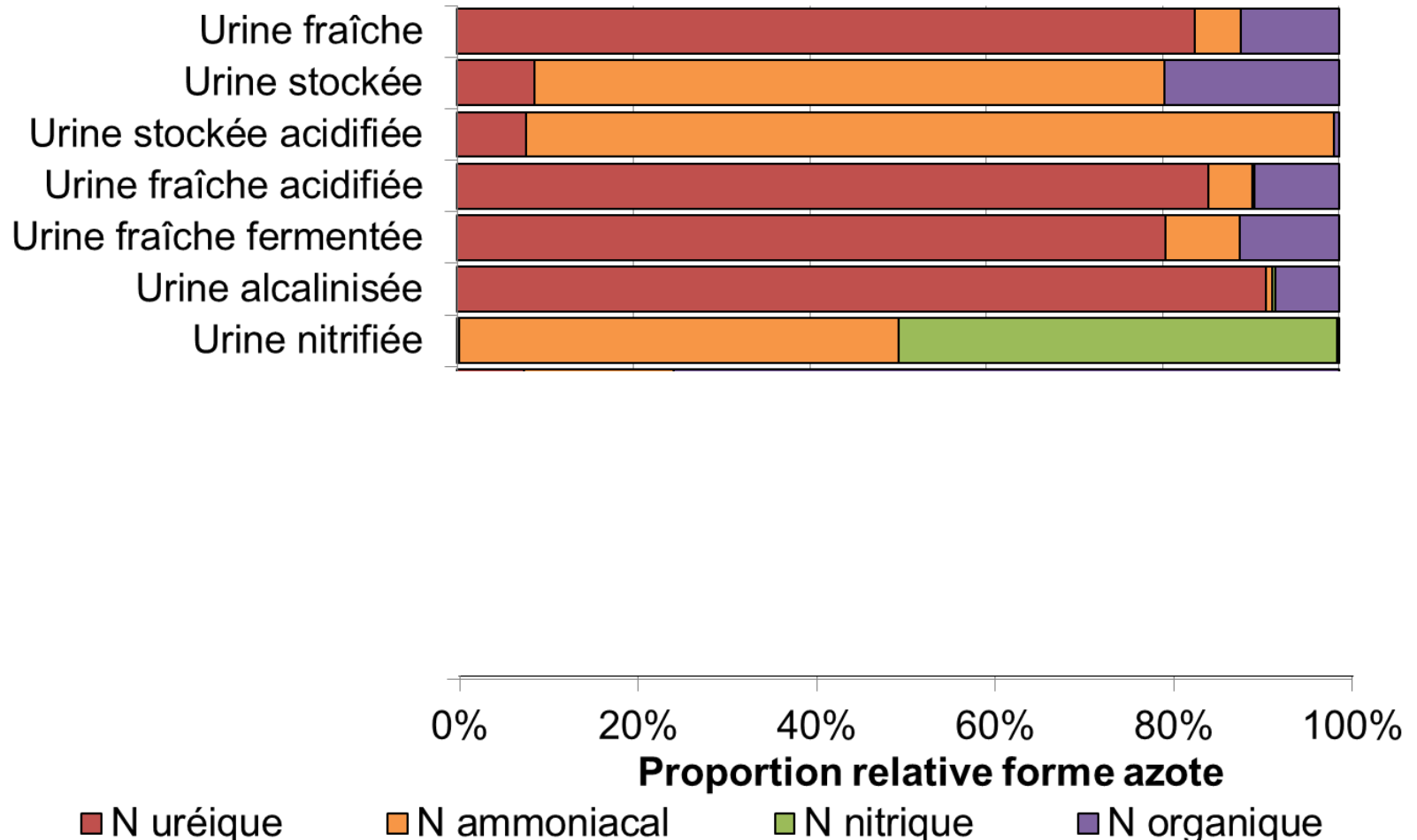


Température

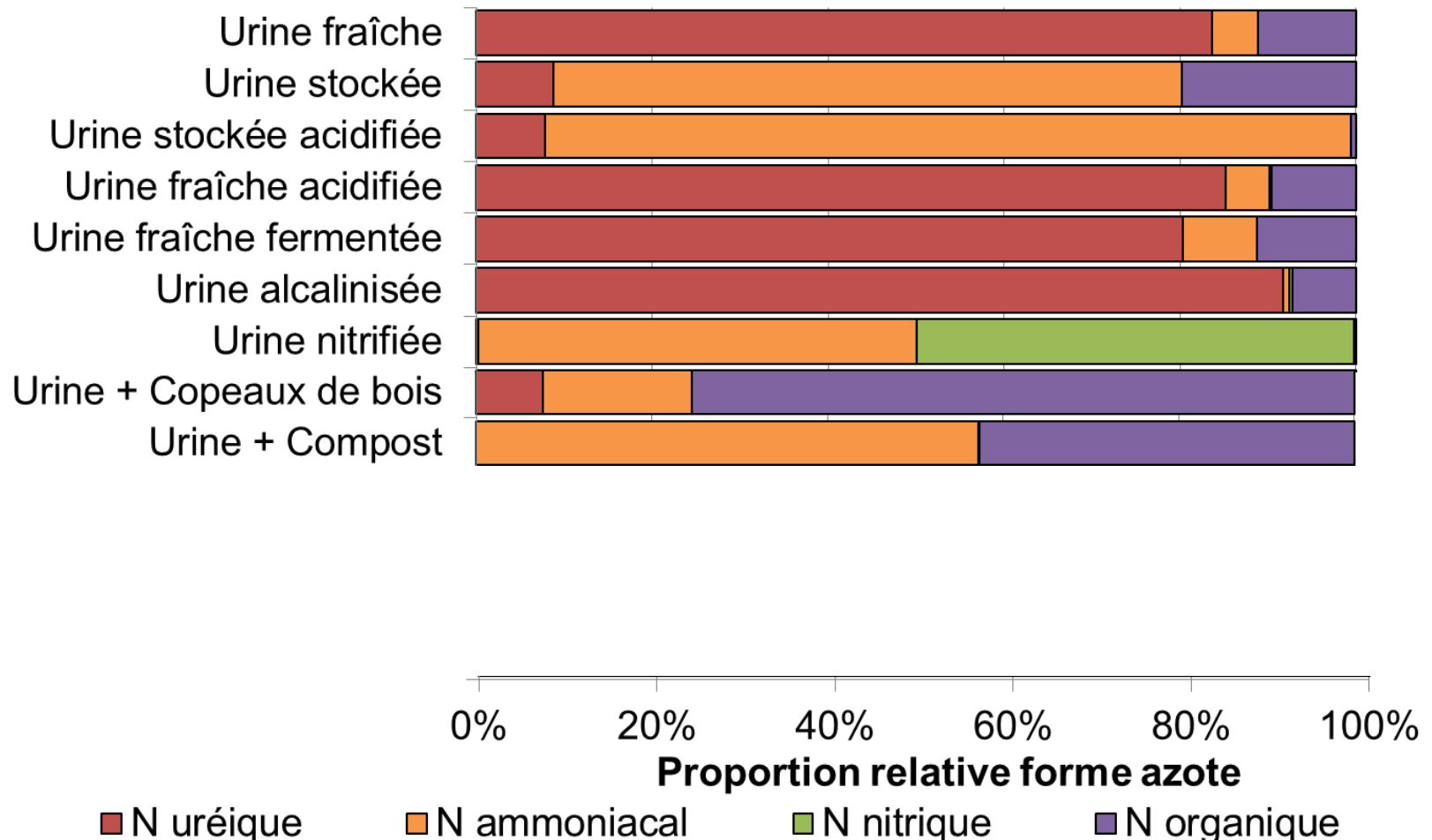


pH < 4 ou pH > 10-11

- Une grande diversité de formes de l'azote
- Majoritairement minéral

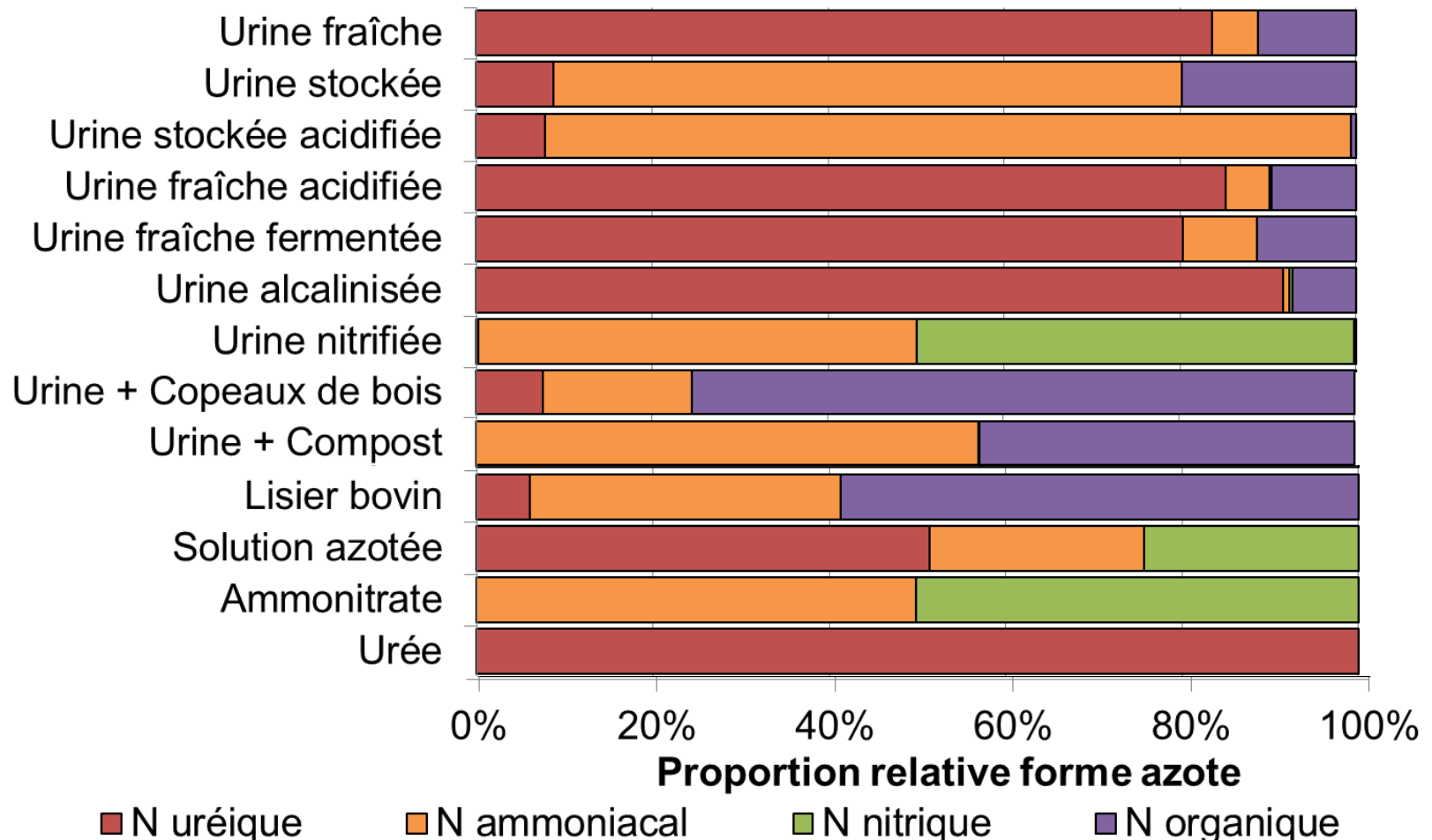


- Une grande diversité de formes de l'azote
- Majoritairement minéral



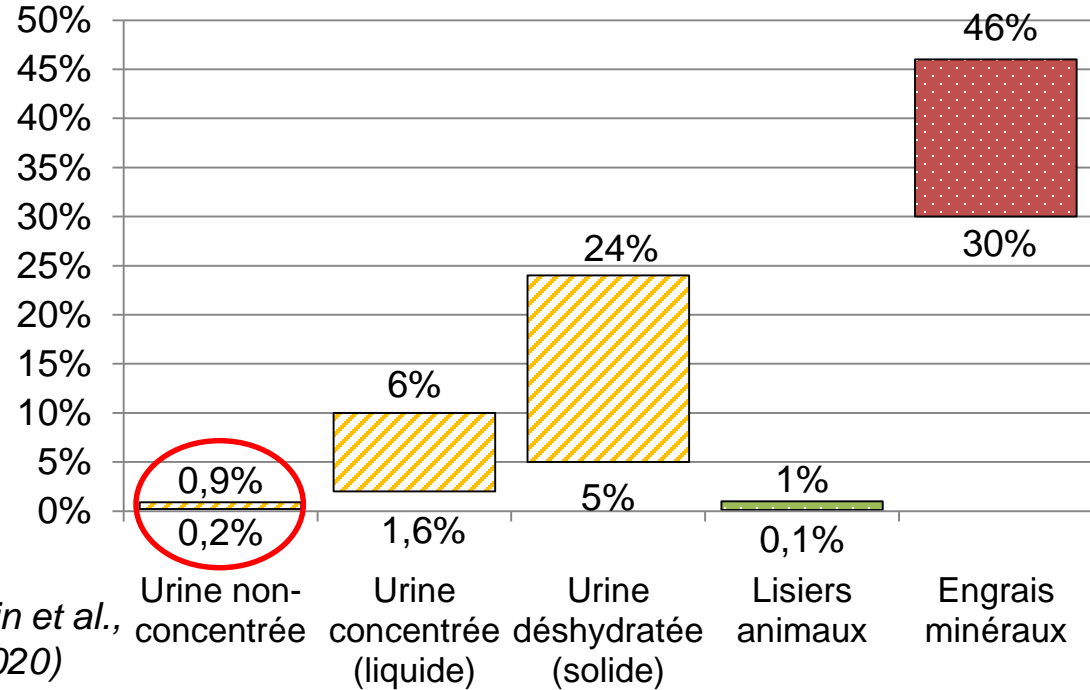


- Une grande diversité de formes de l'azote
- Majoritairement minéral



# Réduction du volume

Concentration en N (% massique)



(Martin et al., 2020)



Urine stockée



Urine fraîche acidifiée



Urine fermentée

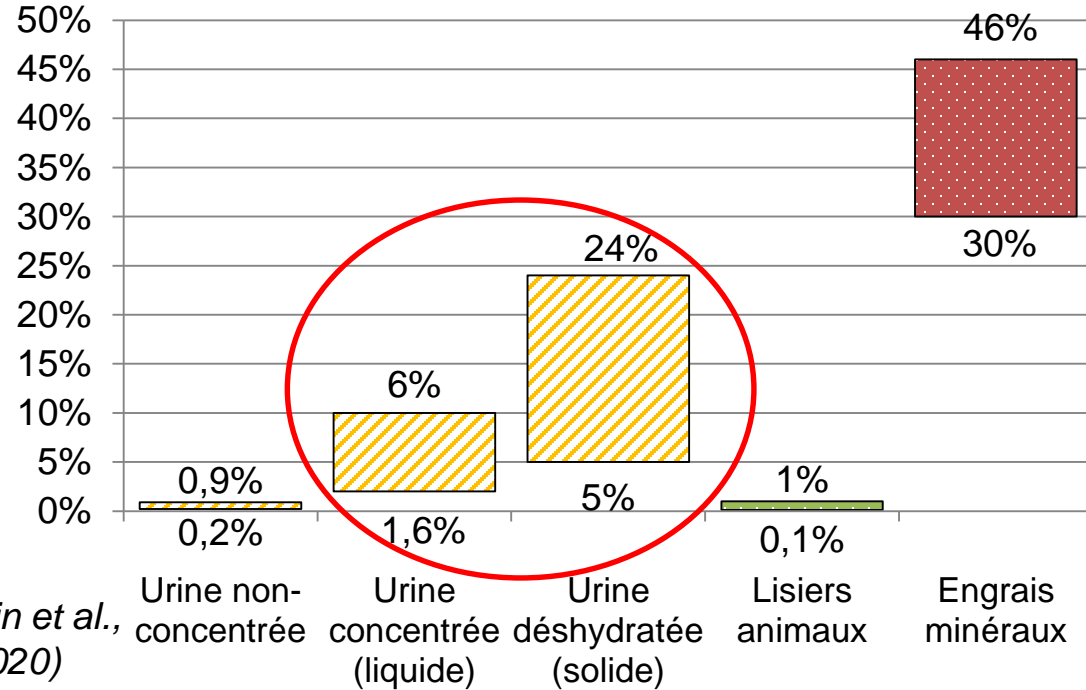


Urine stockée acidifiée

# Réduction du volume

→ Evaporation

Concentration en N (% massique)



(Martin et al., 2020)



Urine stockée



Urine fraîche acidifiée



Urine fermentée



Urine stockée acidifiée



Urine nitrifiée concentrée

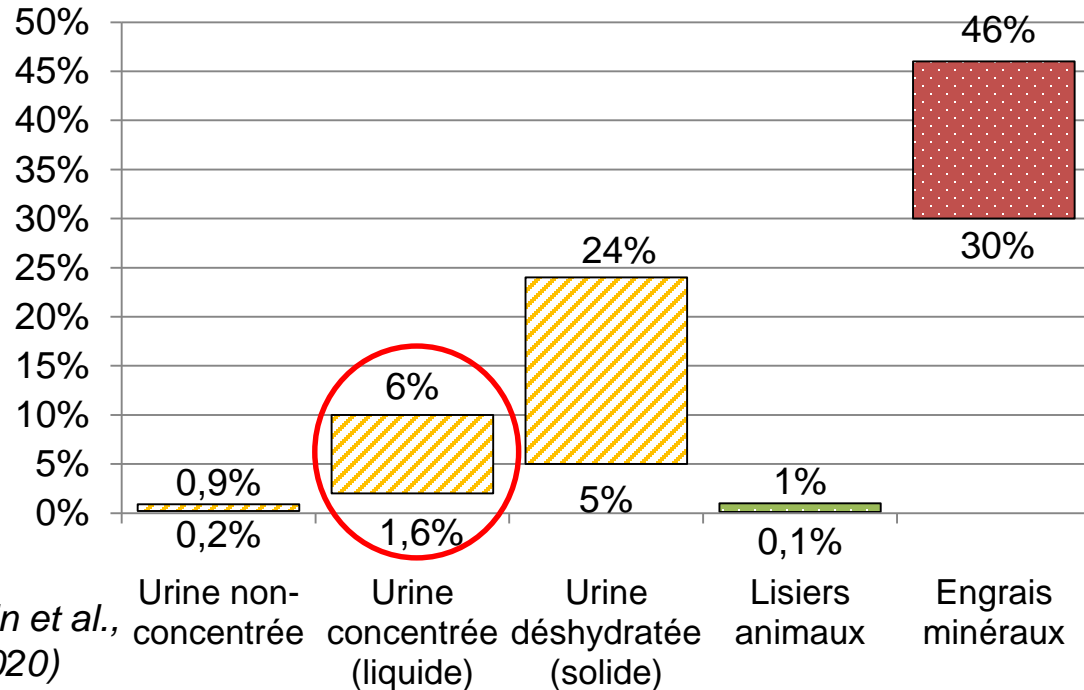


Urine alcalinisée déshydratée

# Réduction du volume

- Evaporation
- Congélation-décongélation
- Osmose
- Distillation membranaire

Concentration en N (% massique)



Urine stockée



Urine fraîche acidifiée



Urine fermentée



Urine stockée acidifiée



Urine nitrifiée concentrée

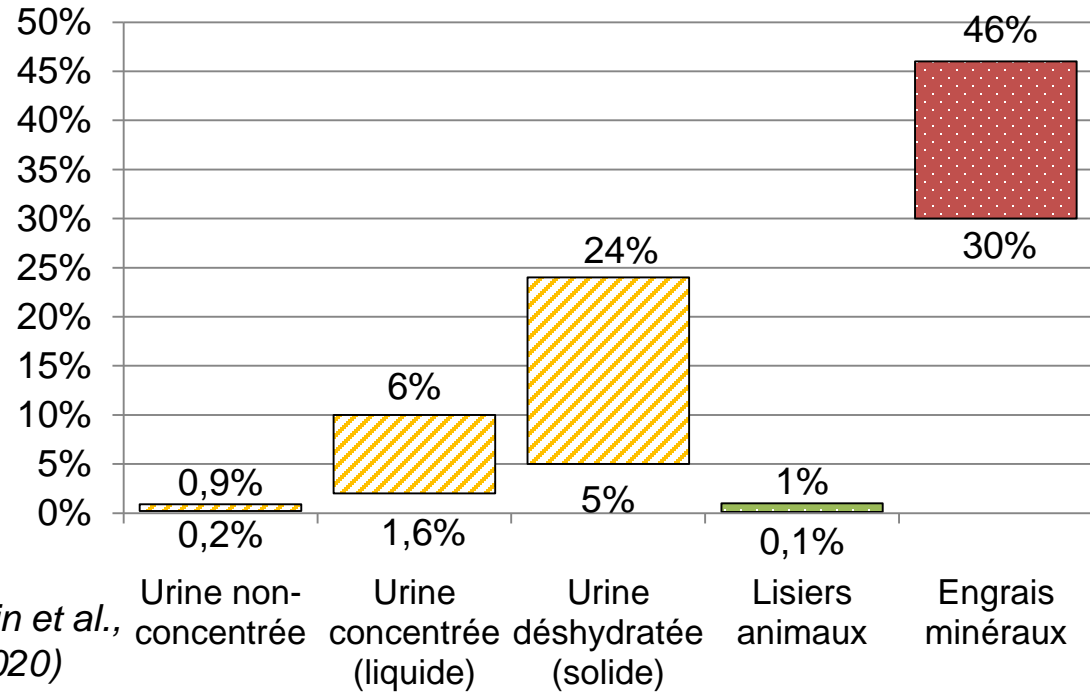


Urine alcalinisée déshydratée

# Réduction du volume

- Evaporation
- Congélation-décongélation
- Osmose
- Distillation membranaire

Concentration en N (% massique)



Urine stockée



Urine fraîche acidifiée



Urine fermentée



Urine stockée acidifiée



Urine nitrifiée concentrée



Urine alcalinisée déshydratée



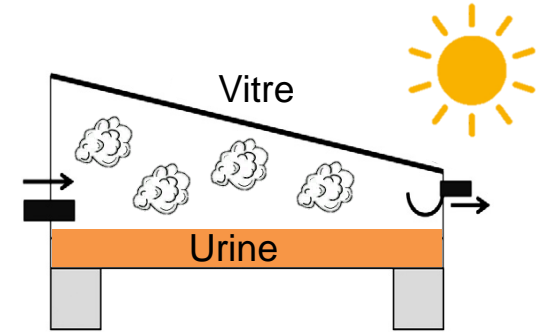
Urine fraîche + copeaux bois



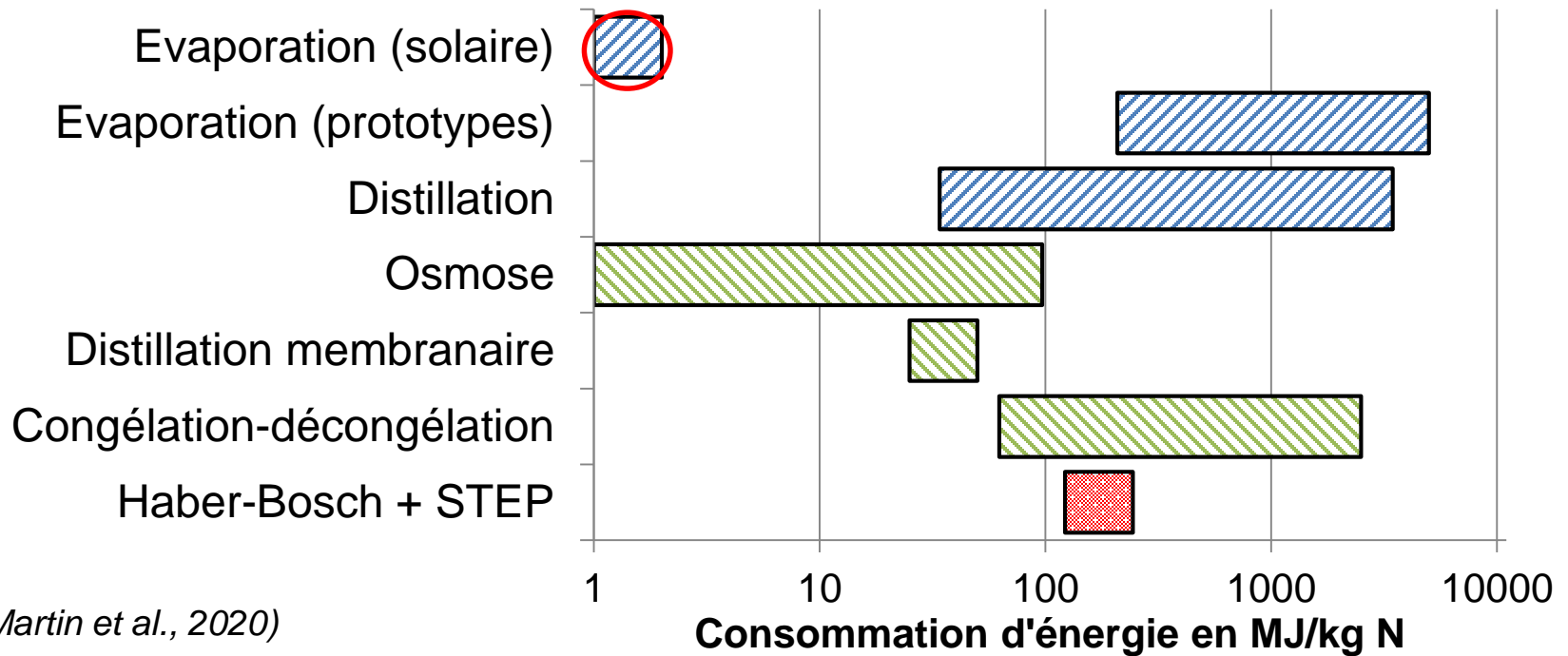
Urine stockée + compost

# Consommation d'énergie

→ Très variable



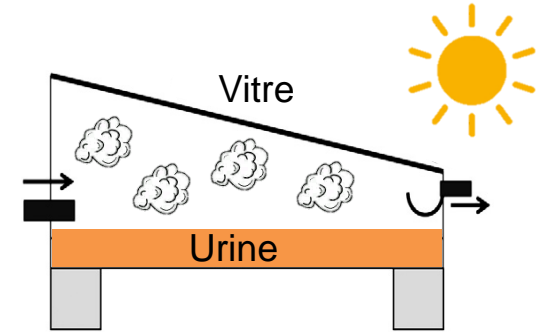
(adapté de Antonini et al., 2012)



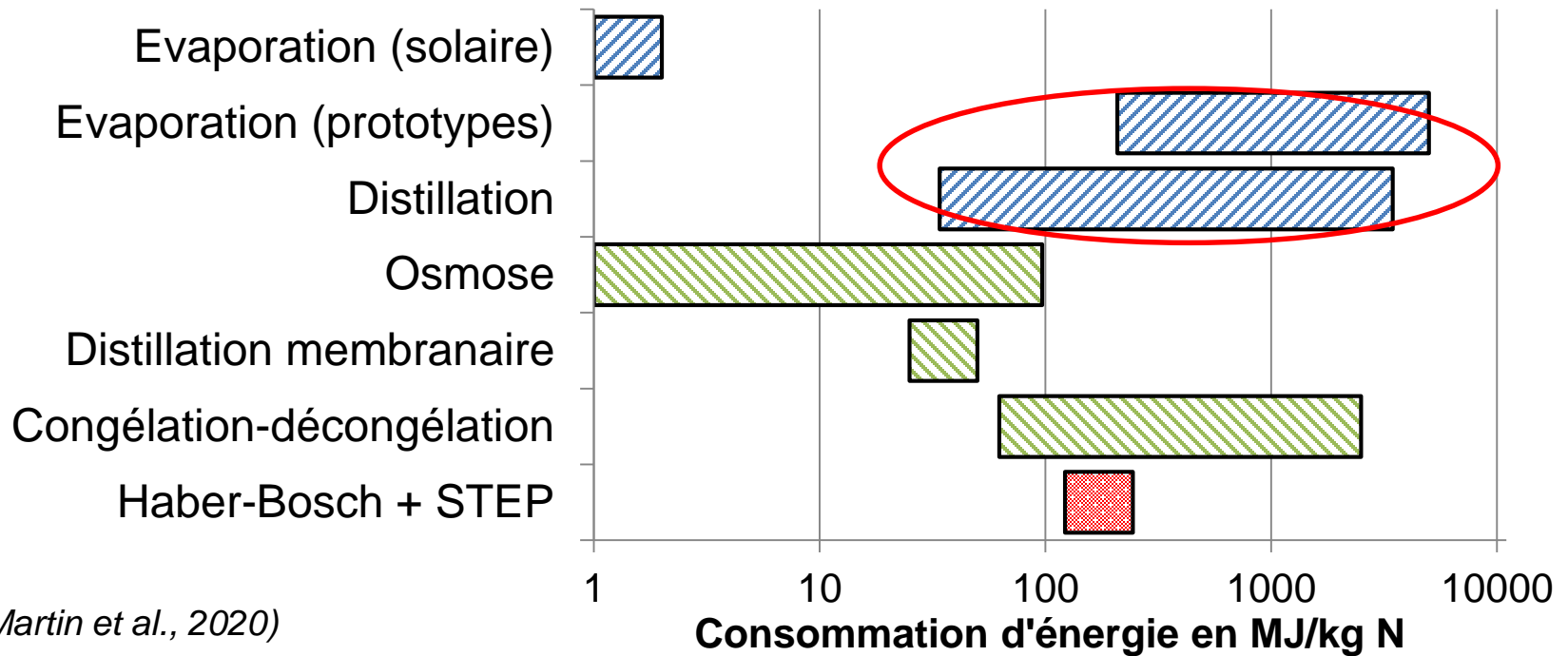
(Martin et al., 2020)

# Consommation d'énergie

→ Très variable



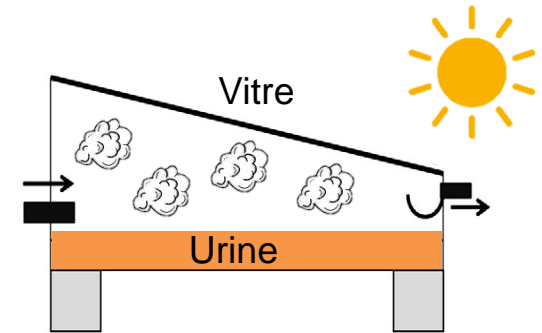
(adapté de Antonini et al., 2012)



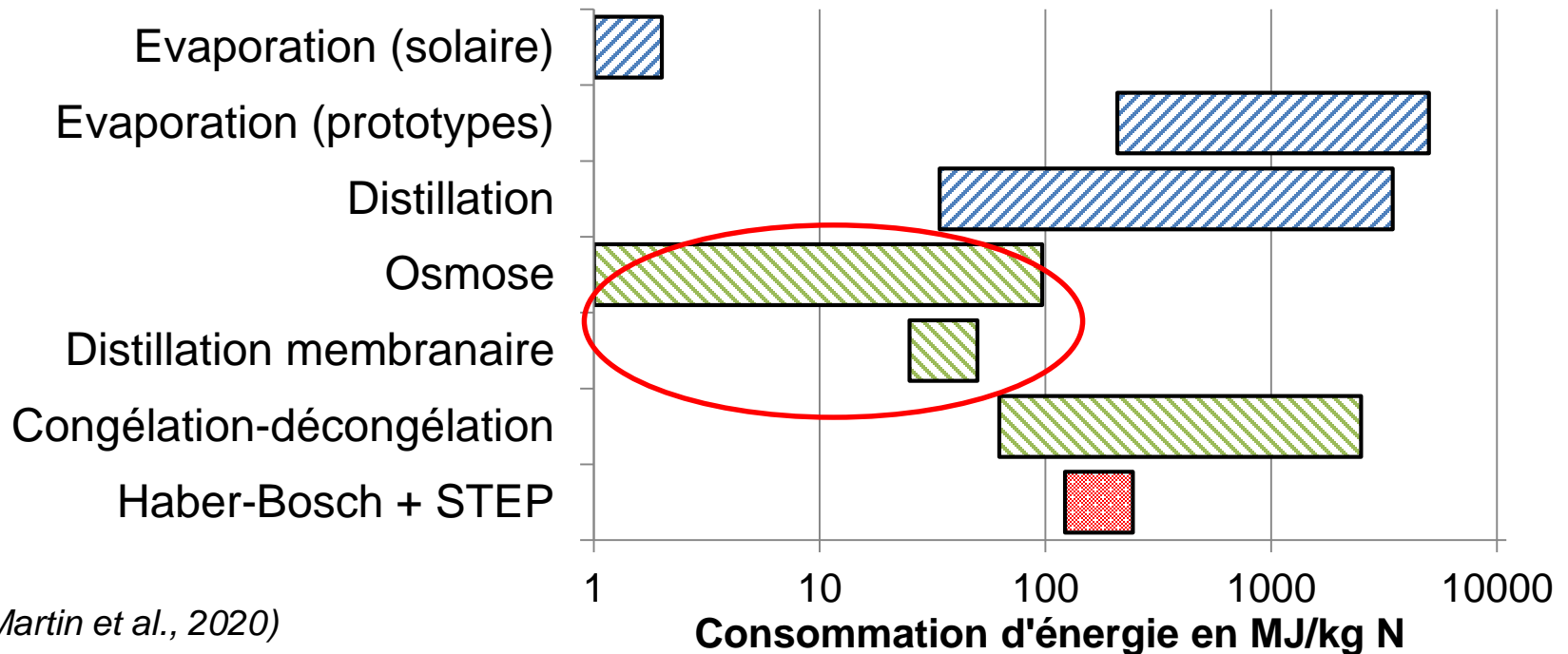
(Martin et al., 2020)

# Consommation d'énergie

- Très variable
- Osmose: Consommation limitée mais facteur concentration faible



(adapté de Antonini et al., 2012)

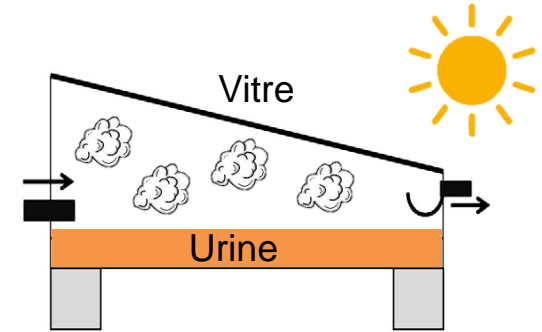


(Martin et al., 2020)

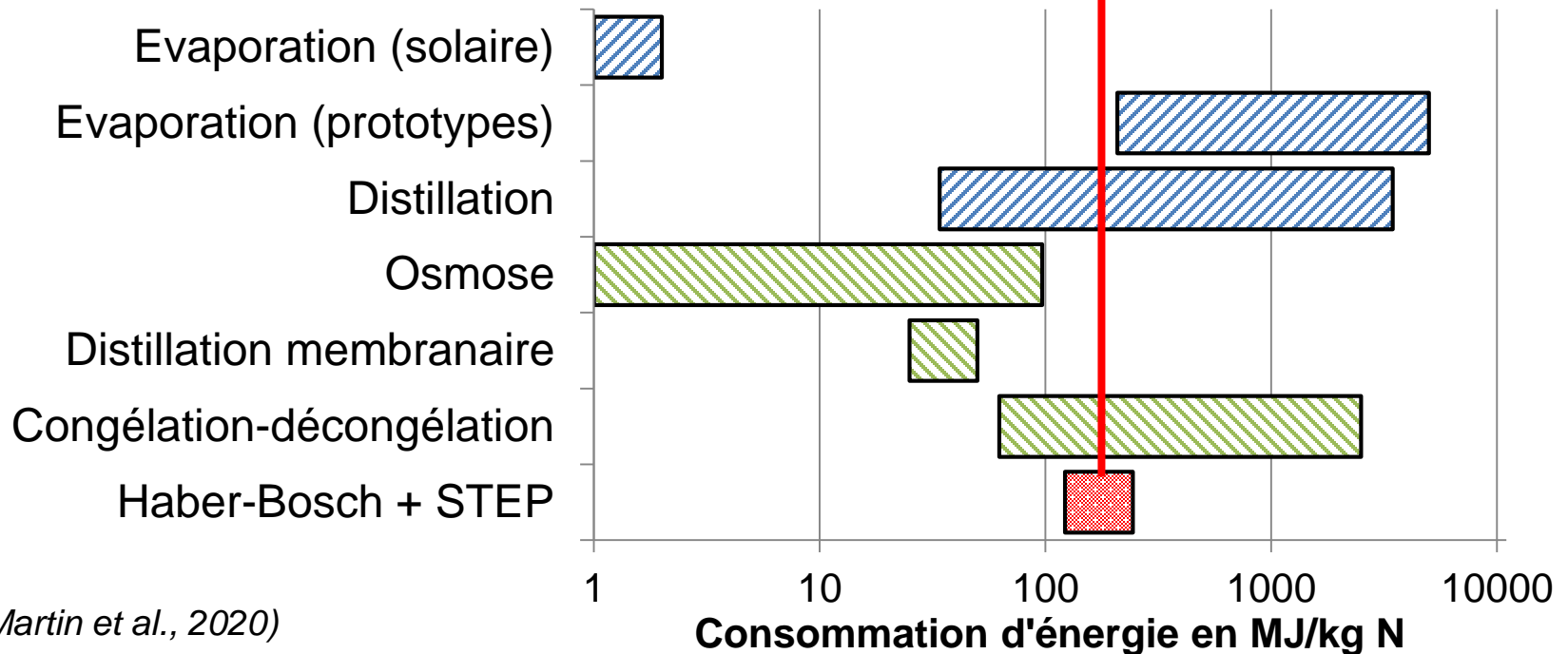


# Consommation d'énergie

- Très variable
- Osmose: Consommation limitée mais facteur concentration faible
- Peut être plus élevée que les pratiques actuelles



(adapté de Antonini et al., 2012)



(Martin et al., 2020)

## Pathogènes :

→ Sensible aux **pH acides** ou **basiques**

→ Mais surtout à la concentration en **NH<sub>3</sub>** et **chaleur**

Urine stockée : OMS (2012) recommande 1 à 6 mois de stockage

Traitement	Inactivation des pathogènes
Stockage	++
Acidification	+ to ++
Alcalinisation	++
Nitrification	++
Mélange avec substrat organique	? / +
Réduction du volume	? / +++
Traitements des contaminants	? / +++

(Martin et al., 2020)

Effet : + Faible ou à long terme  
++ Moyen ou selon certaines conditions  
+++ Fort et à court terme  
? Inconnue

## Pathogènes :

- Sensible aux **pH acides** ou **basiques**
- Mais surtout à la concentration en **NH<sub>3</sub>** et **chaleur**

Urine stockée : OMS (2012) recommande 1 à 6 mois de stockage

## Pharmaceutiques :

- Peu étudié
- Faiblement efficace

(Martin et al., 2020)

Traitement	Inactivation des pathogènes	Abattement des résidus de pharmaceutiques
Stockage	++	+
Acidification	+ to ++	+
Alcalinisation	++	+
Nitrification	++	++
Mélange avec substrat organique	? / +	?
Réduction du volume	? / +++	? / +
Traitements des contaminants	? / +++	+++

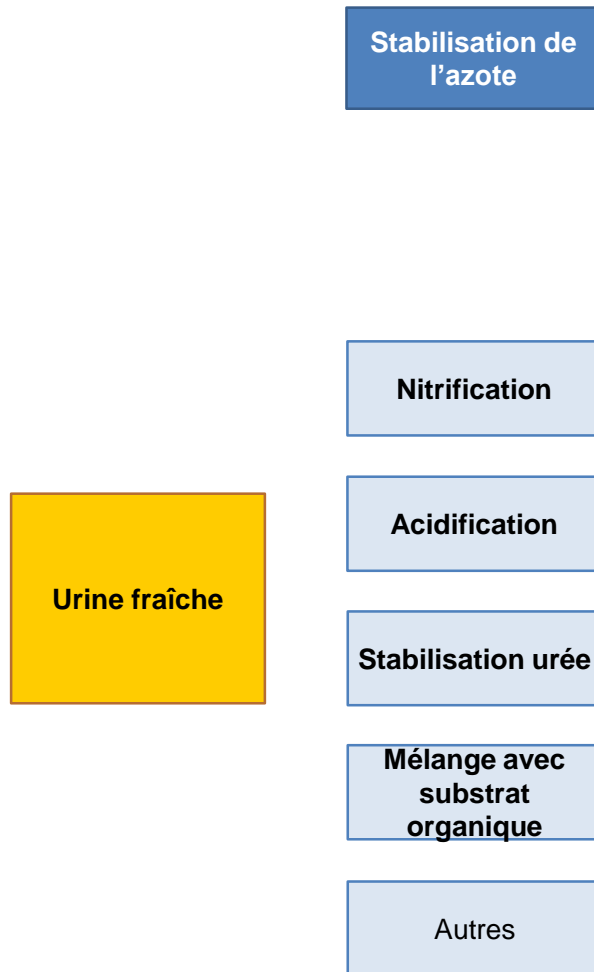
Effet : + Faible ou à long terme  
 ++ Moyen ou selon certaines conditions  
 +++ Fort et à court terme  
 ? Inconnue

# Une diversité de traitements

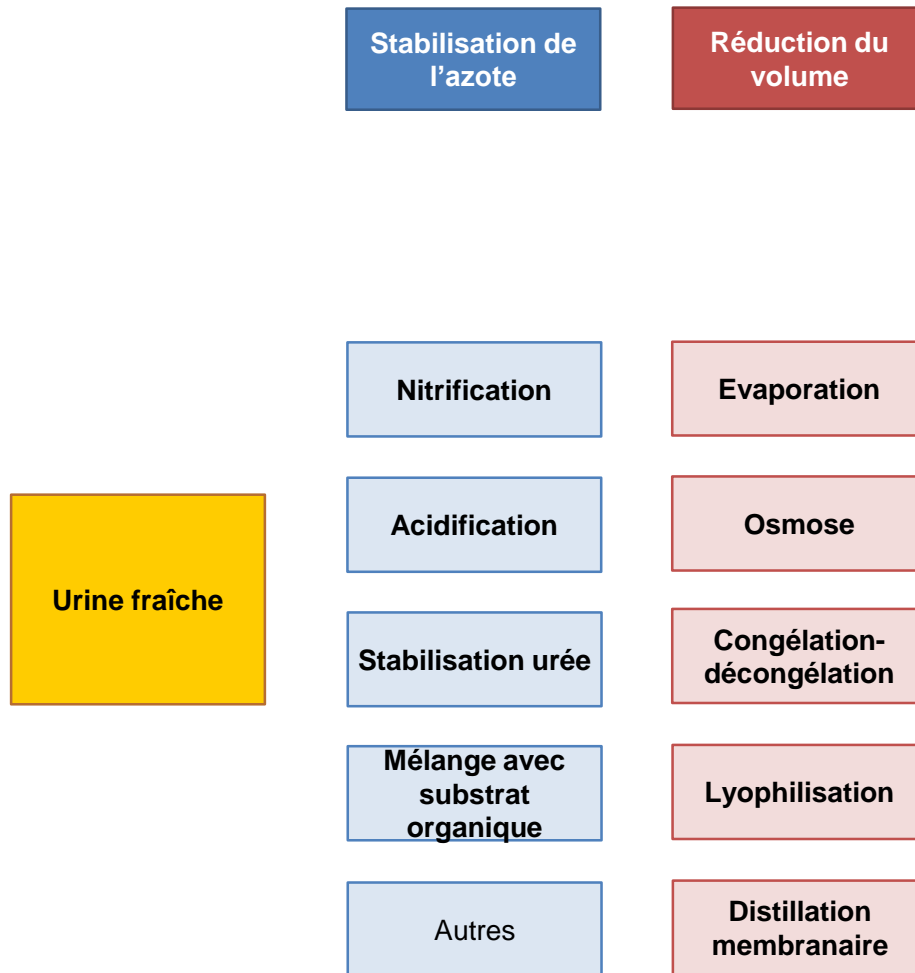


**Urine fraîche**

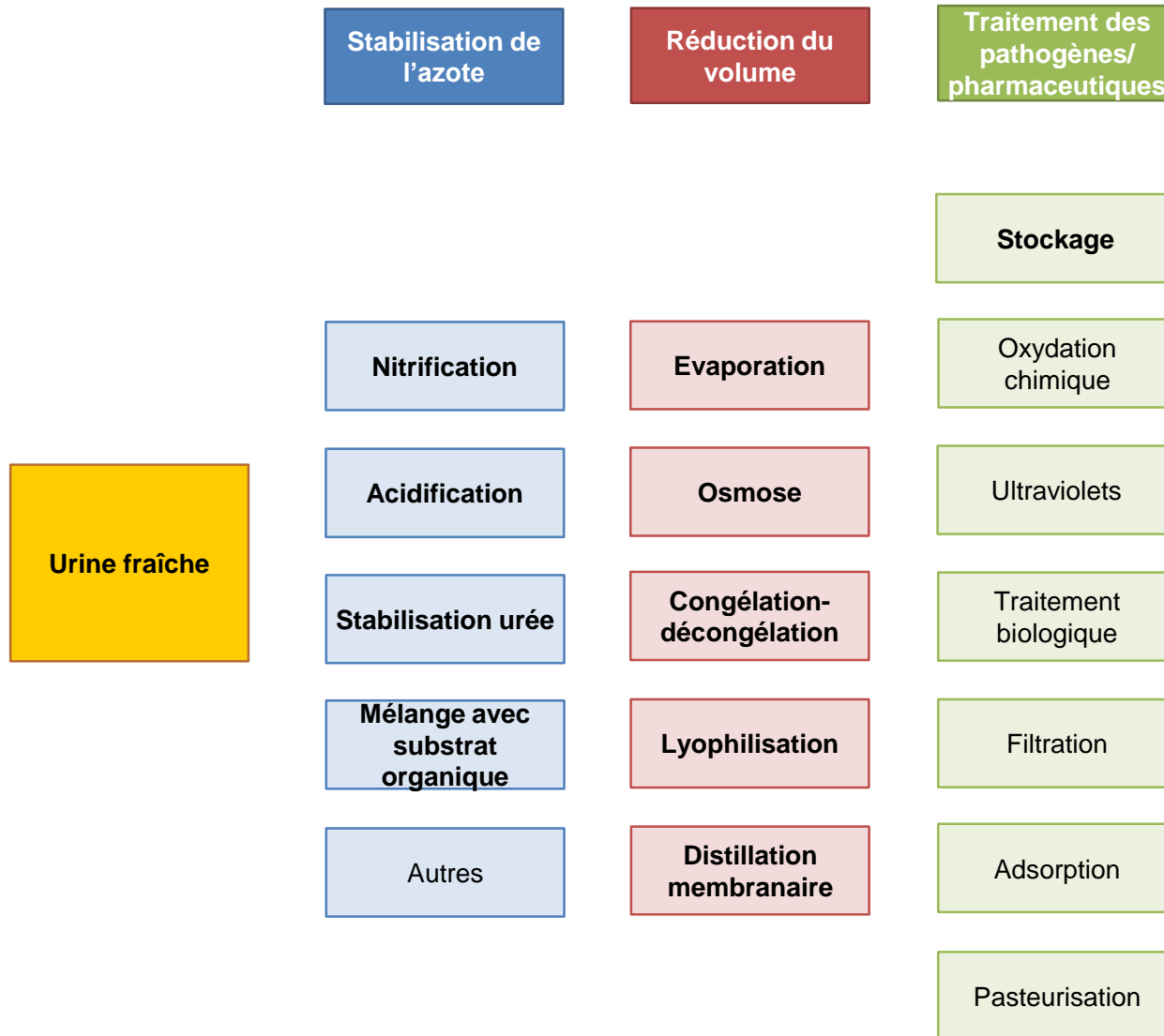
# Une diversité de traitements



# Une diversité de traitements



# Une diversité de traitements



# Une diversité de traitements

Extraction des nutriments

Stabilisation de l'azote

Réduction du volume

Traitement des pathogènes/  
pharmaceutiques

**Urine fraîche**

Stripping

Nitrification

Evaporation

Stockage

Systèmes bioélectrochimiques

Acidification

Osmose

Oxydation chimique

Systèmes électrochimiques

Stabilisation urée

Congélation-décongélation

Ultraviolets

Systèmes membranaires

Mélange avec substrat organique

Lyophilisation

Traitement biologique

Adsorption

Autres

Distillation membranaire

Filtration

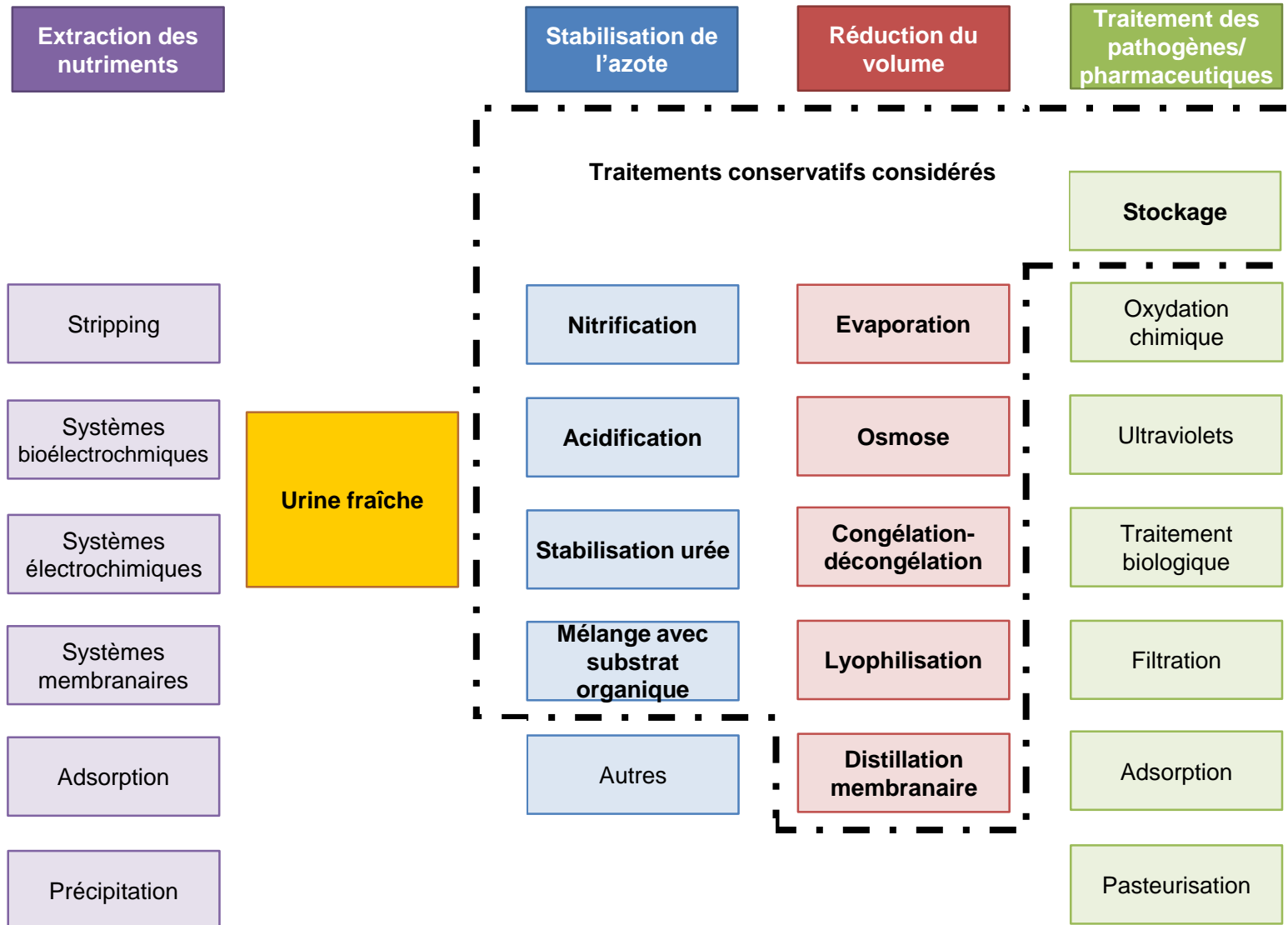
Précipitation

Adsorption

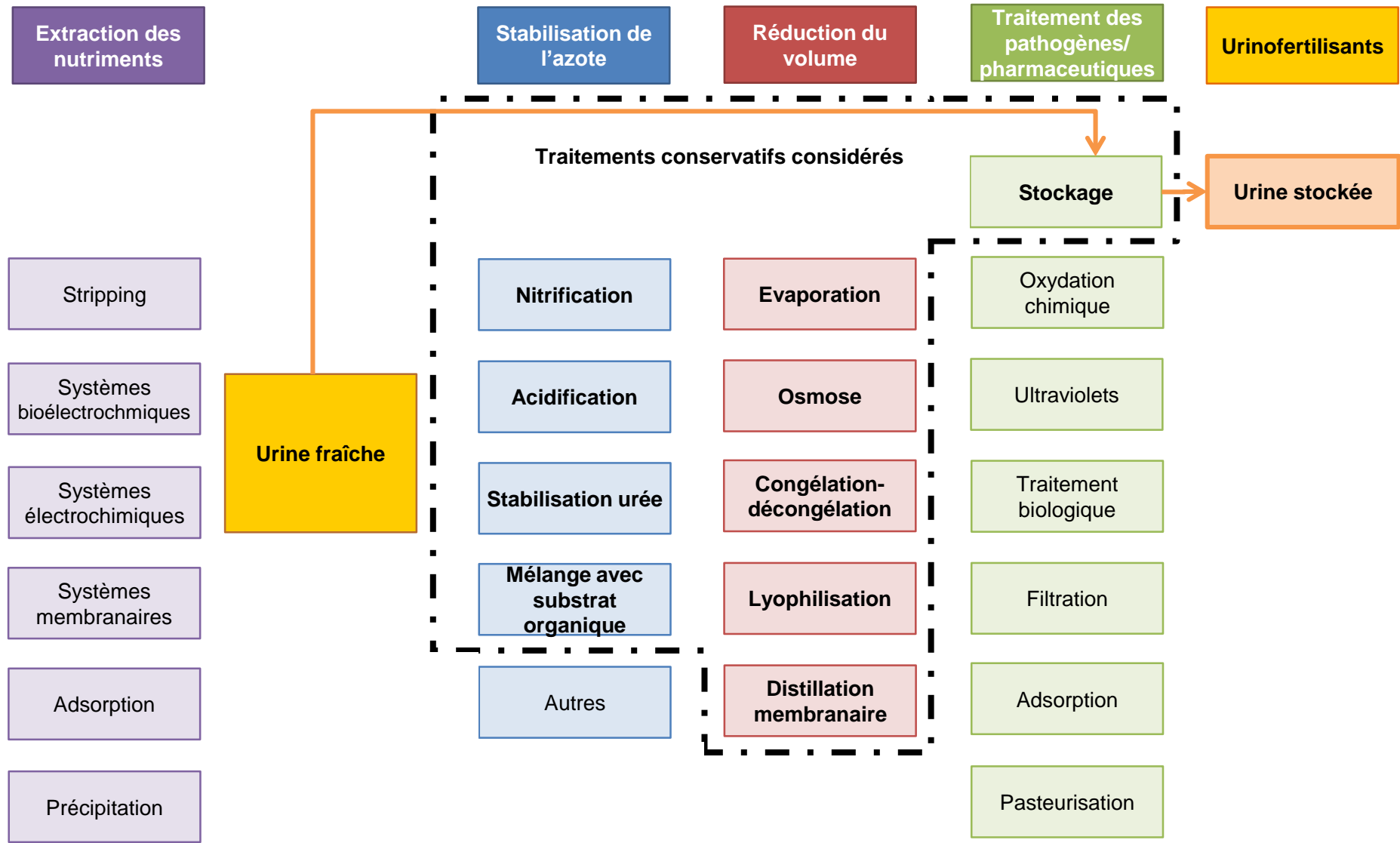
Pasteurisation



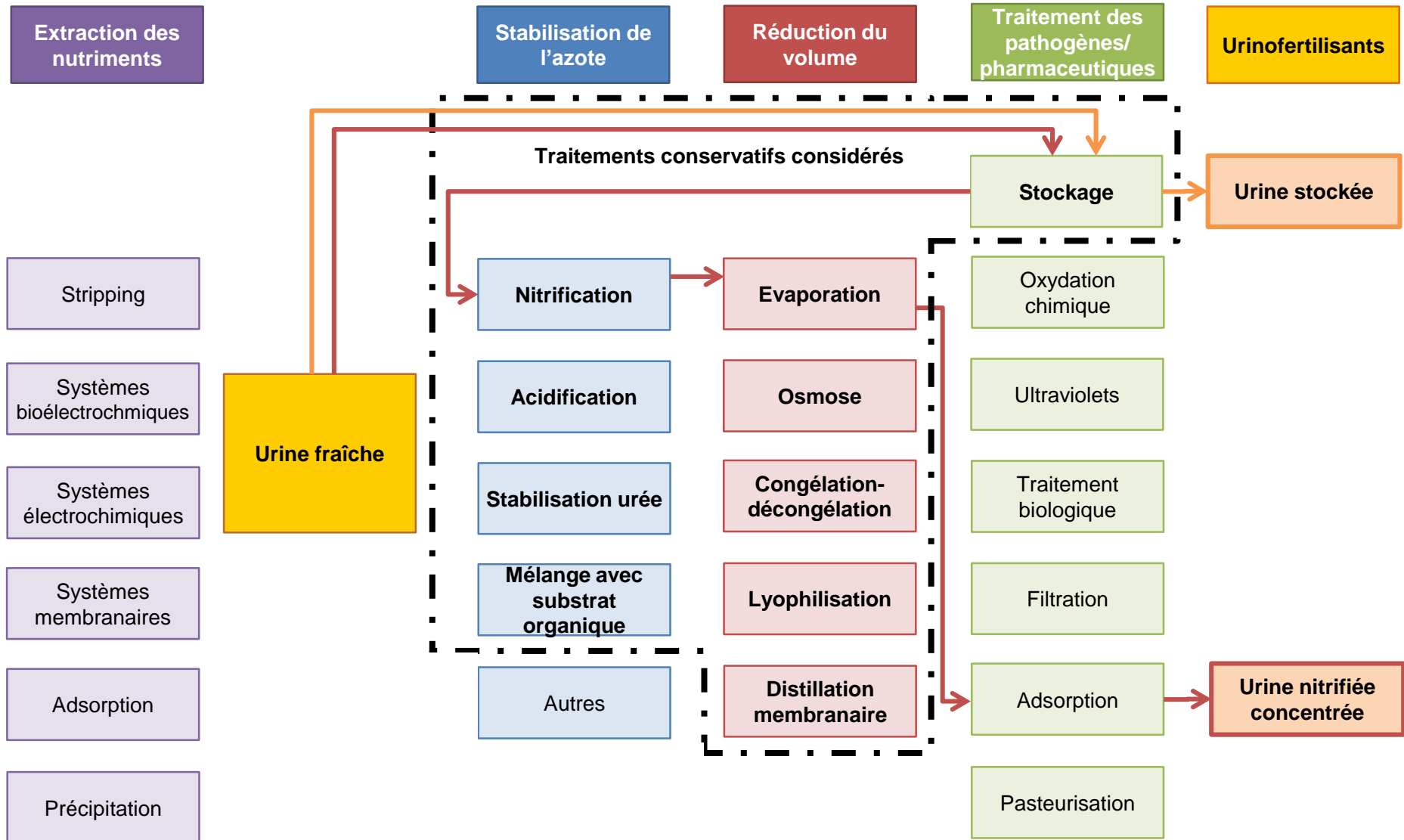
# Une diversité de traitements



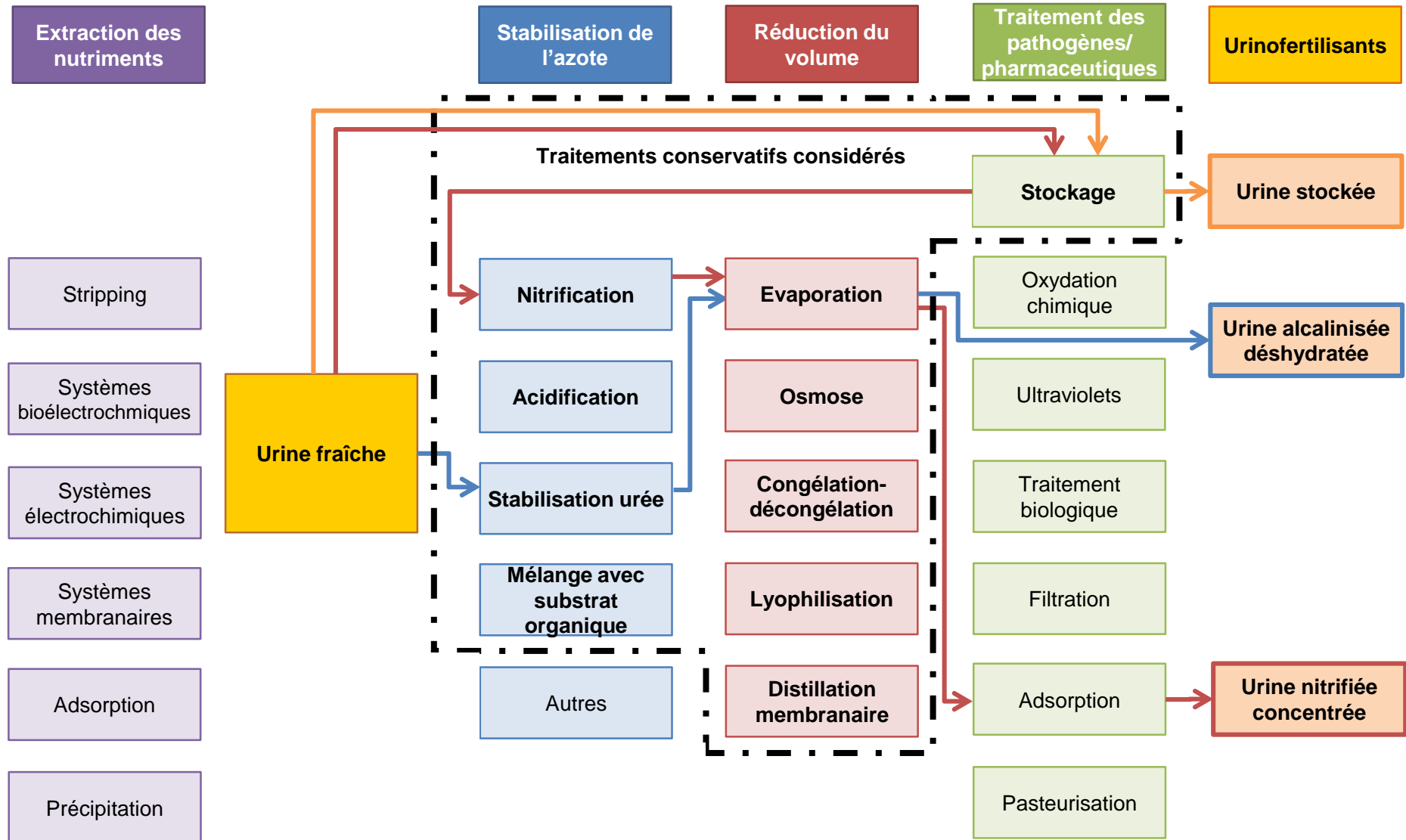
# Une diversité de traitements



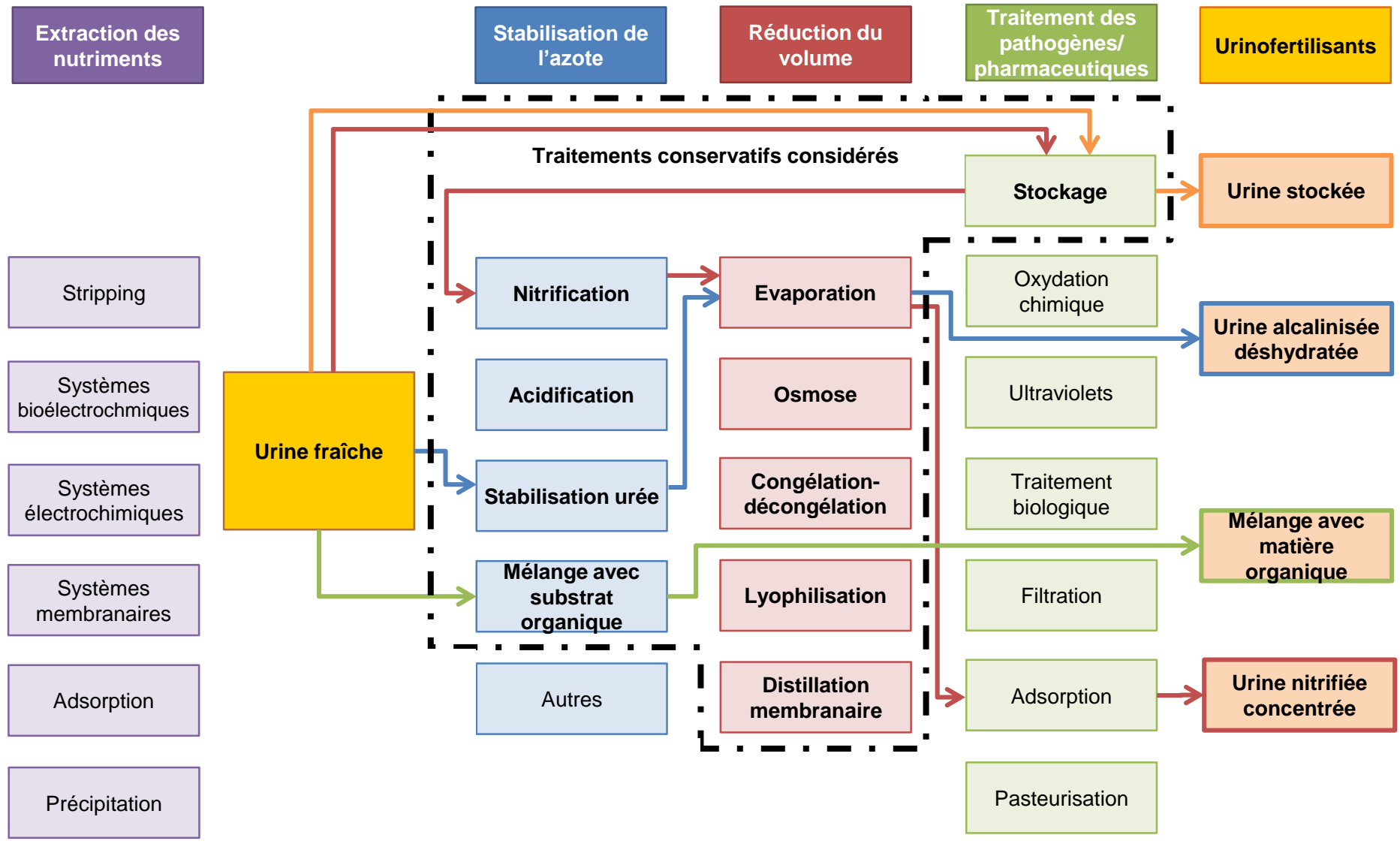
# Une diversité de traitements



# Une diversité de traitements



# Une diversité de traitements



 **Des traitements entre autre pour: 1/ stabiliser l'azote  
2/ réduire le volume**

- ➔ **Des traitements entre autre pour: 1/ stabiliser l'azote  
2/ réduire le volume**
- ➔ **Une grande diversité d'urinofertilisants  
Caractéristiques physico-chimiques variées**

- ➔ **Des traitements entre autre pour: 1/ stabiliser l'azote  
2/ réduire le volume**
- ➔ **Une grande diversité d'urinofertilisants  
Caractéristiques physico-chimiques variées**
- ➔ **Forte inactivation des pathogènes  
Dissipation des pharmaceutiques plus difficile**



- ➔ **Des traitements entre autre pour: 1/ stabiliser l'azote  
2/ réduire le volume**
- ➔ **Une grande diversité d'urinofertilisants  
Caractéristiques physico-chimiques variées**
- ➔ **Forte inactivation des pathogènes  
Dissipation des pharmaceutiques plus difficile**
- ➔ **Des impacts liés aux traitements (énergie)**

Merci pour votre attention