

## Ingénieurs chimistes 3<sup>ème</sup> année

Source: <https://www.biopharminternational.com/>



MER Dr MEYER Thierry



# Bienvenue au cours

## Opération unitaire et technologie des procédés

# Introduction: Objectifs du cours

- Découvrir les opérations unitaires
- Intégrer les notions théoriques essentielles liées aux différentes technologies
- Comprendre le fonctionnement des différentes opérations unitaires en génie des procédés
- Être en mesure de sélectionner la technologie appropriée en fonction du procédé



- Module 1: Introduction
- Module 2: Les processus d'écoulement des fluides
- Module 3: Les procédés faisant intervenir le transfert de chaleur
- Module 4: Les processus utilisant le transfert de masse
- Module 5: Les procédés thermodynamiques
- Module 6: Les processus mécaniques
- Module 7: La combinaison de plus d'une classe

# Introduction: Problématique du verre



Pour un optimiste le verre est à moitié plein, pour un pessimiste, il est à moitié vide, et pour un ingénieur ?

# Exemple: Opération unitaire – késako ?

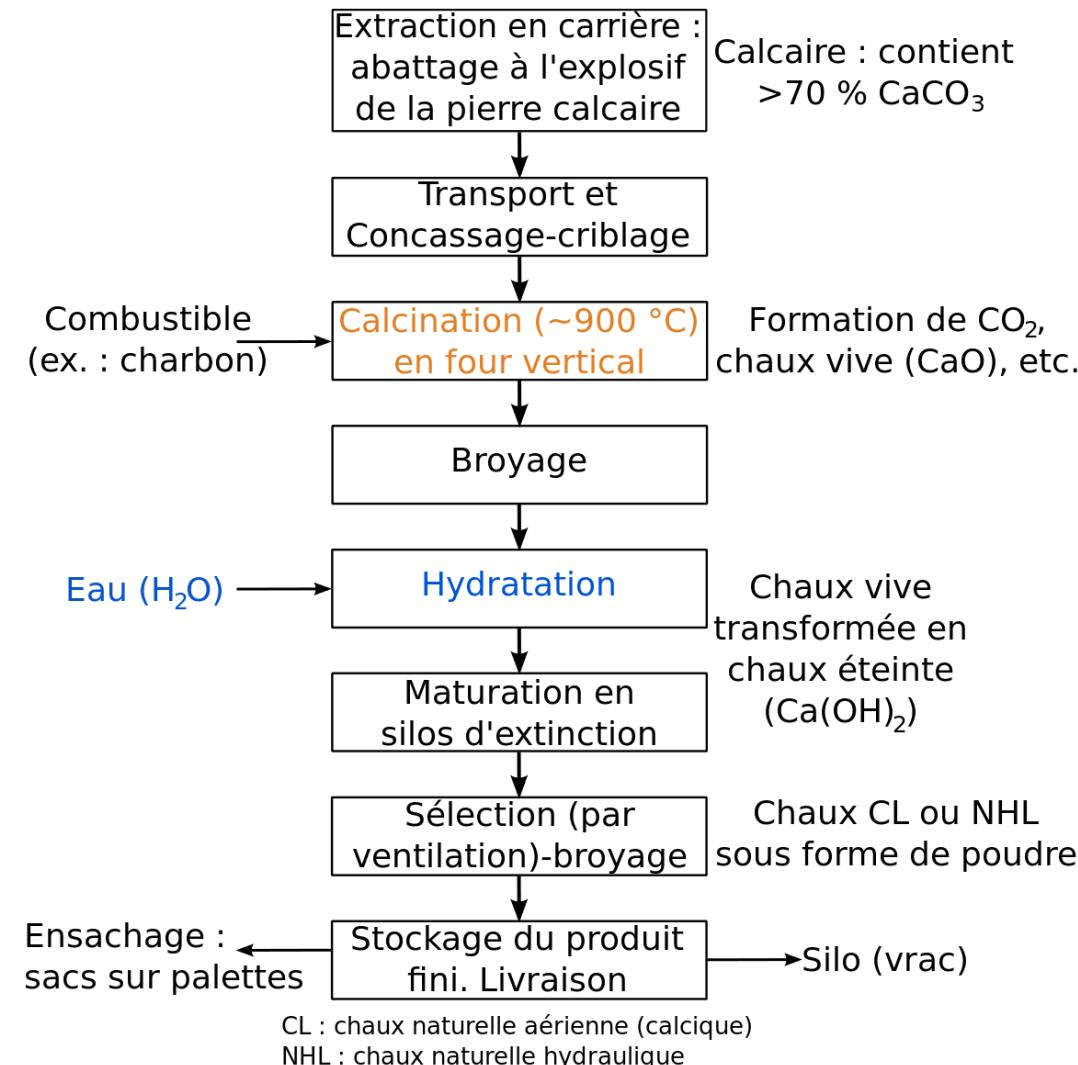
Une opération unitaire est une **subdivision** d'un procédé industriel qui consiste en général en une opération physique ou chimique (Wikipédia).

Les opérations unitaires sont des opérations **élémentaires** individuelles mises en œuvre dans l'industrialisation d'un procédé («Principes fondamentaux du génie des procédés et de la technologie chimique», Henri Fauduet, 1997, Librairie Lavoisier –TEC & DOC).

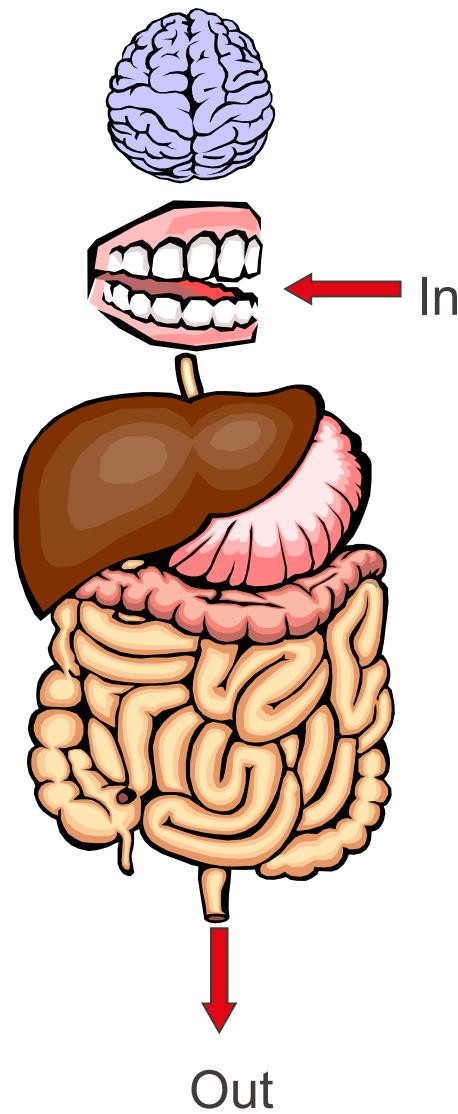
Les opérations unitaires ont pour but essentiel le **transfert** d'un ou plusieurs composés chimiques d'une phase vers une autre (D. Ronze, Introduction au génie des procédés, 2008, Ed. Tec & Doc).

# Exemple: opération unitaire - exemple

Opérations unitaires utilisées pour la production d'une chaux naturelle (exemple)



# Exemple: appareil digestif – une suite d'opérations unitaires



Cerveau

Organe de contrôle où arrive toute l'information provenant des capteurs

Bouche

Broyeur préparant la digestion avec ajout d'une additif: la salive

Œsophage

Tube de transport

Estomac

Réacteur de type agité sans gradient

Intestin

Réacteur piston avec gradient, séparation des produits, volume de contrôle microscopique

*Foie (Séparateur avec stockage)*

*Reins (Filtre)*

Les opérations unitaires se basent sur des règles de nature physique et traduisent des transformations simples.

Principes:

- Contact intime entre les phases pour favoriser des mécanismes de transfert de matière, de chaleur et de quantité de mouvement.
- Séparation des constituants du mélange.

Le choix d'une technique pour réaliser une opération unitaire dépend de:

- La possibilité effective de séparation sur des bases thermodynamiques.
- La possibilité offerte par la cinétique de transfert (plus ou moins rapide selon les phases en présence).
- La volonté d'utiliser préférentiellement certaines sources d'énergie.
- Le souhait d'économiser de l'énergie ou de diminuer les frais de fonctionnement et/ou d'abaisser les investissements.
- L'éventuel impact environnemental.

Pour transformer une matière disponible en un produit d'intérêt, on doit:

- Etablir le procédé de transformation chimique, biologique, biochimique,...
- Définir les opérations unitaires.
- Envisager le contrôle du procédé dans son ensemble.

Tâche de l'ingénieur (ou du bio-ingénieur): → Optimiser ce procédé pour une production plus performante et sécurisée.

- La plus productive.
- La moins coûteuse.
- La plus durable au point de vue environnemental.

- Composition de l'alimentation et du produit
- Vitesse de production (voulue ou accessible)
- Conditions opératoires (T, P)
- Conditions particulières (sensibilité des produits, présence de suspension solide, variation de pH, composition, T, P)

1. Établir les bases du procédé

2. Obtention des données de base

4. Calcul du procédé (dimensionnement)

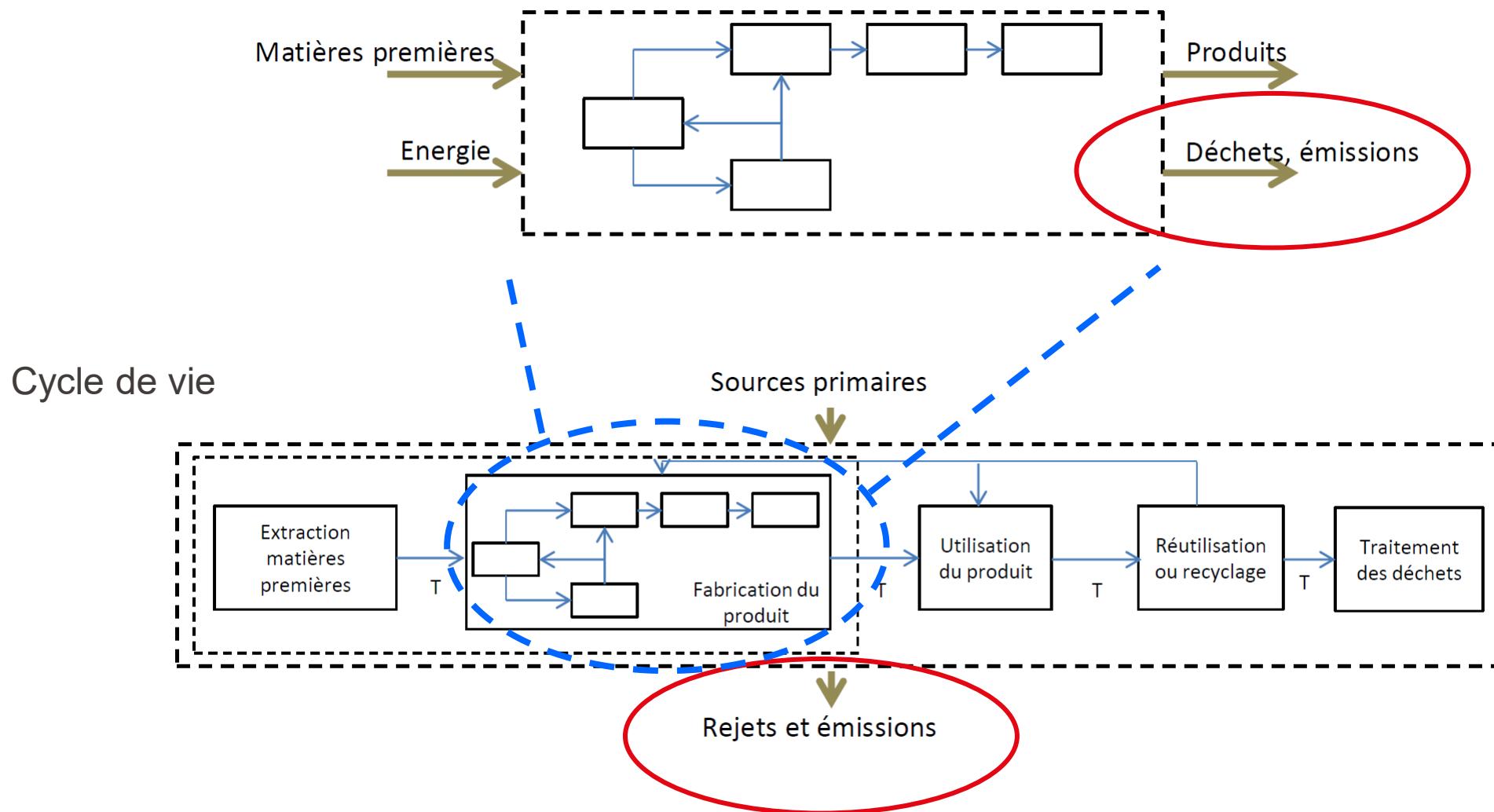
3. Choix du procédé

- Équilibre de phase ou données sur les flux
- Densité, viscosité, coefficients de diffusion
- Données sur le transfert de matière

- Vérifier la rentabilité économique
- Changer de procédé si nécessaire

- En tenant compte de l'influence critique des principes et données de base
- En évaluant les performances techniques et économiques du procédé

# Opération unitaire: Défis (1)



95 % des séparations réalisées dans l'industrie chimique concernent

- des produits organiques issus de charbon, pétrole, gaz naturel
- ou des effluents de réacteurs chimiques qui traitent ces produits !

Contexte actuel

- ! fossile vs. renouvelable
- ! développement durable
- ! émissions atmosphériques (VOC, particules fines, gaz à effet de serre)

On peut produire les mêmes composés à partir de biomasse !

- hydrates de carbone (sucres)
- protéines
- huiles
- composés aromatiques, ...

Difficulté pour l'ingénieur de procédé

- réacteurs / catalyseurs différents (bio-raffinerie)
- séparation+ difficile

Recherche !

# Opération unitaire: Défis (3)

$$\text{E-factor (facteur environnemental)} = \frac{\text{Masse totale de déchet}}{\text{Masse de produit}}$$

Roger A. Sheldon's

E-factor	Modèle M&M's	Segment industriel
0.1		Pétrochimie
1		Chimie des commodities
10		
100		Chimie fine
250		Pharma

## Prise en considération de la nature du déchet :

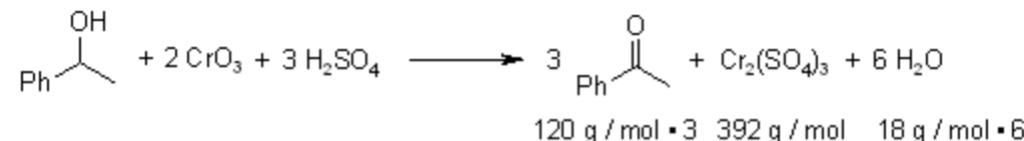
Définition du facteur de correction **Q** «unfriendliness coefficient» ou facteur de non-conformité, qui est fonction de la toxicité, difficulté à mettre en décharge ou à recycler, etc.

- Le facteur E ne tient pas compte de la toxicité des déchets.
- $Q=1$  si les déchets n'ont aucun impact sur l'environnement.
- $Q < 1$  si les déchets peuvent être recyclés ou utilisés pour un autre produit.
- $Q > 1$  si les déchets sont toxiques et dangereux.

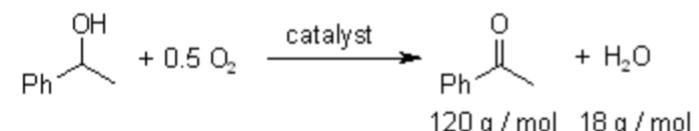
# Opération unitaire: Défis (5)

$$\text{Efficacité atomique (Atome economy)} = \frac{\text{Masse moléculaire du produit désiré}}{\sum \text{Masses moléculaires de tous les réactifs}}$$

*L'efficacité atomique est une valeur hautement théorique qui ne tient compte d'aucun solvant, ni du rendement chimique réel.*



$$\text{atom efficiency} = \frac{3 \cdot 120}{3 \cdot 120 + 392 + 6 \cdot 18} = 42\%$$

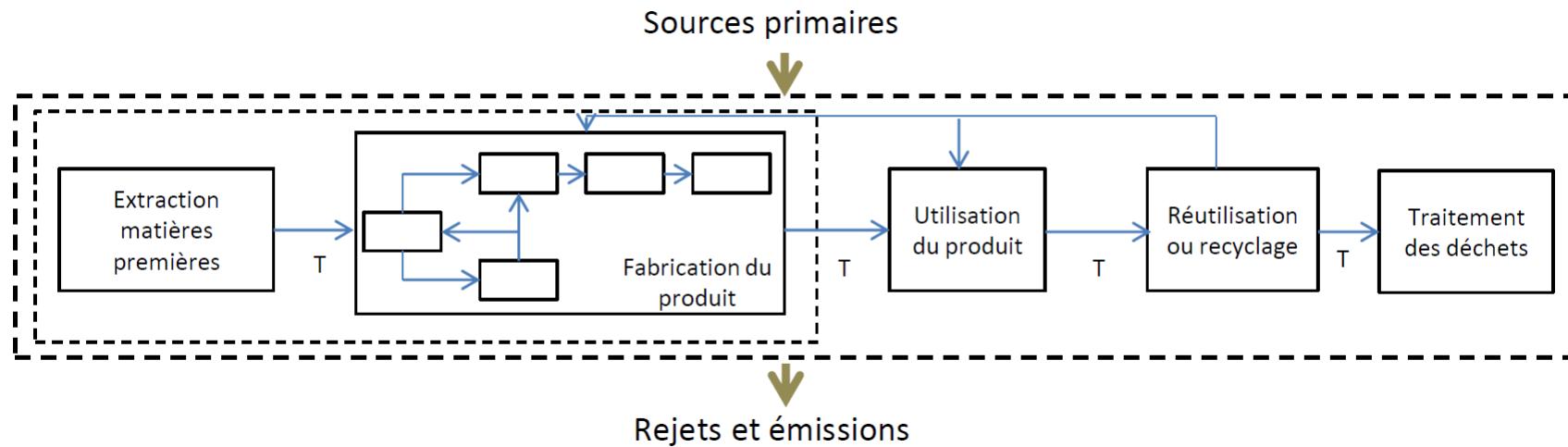


$$\text{atom efficiency} = \frac{120}{120 + 18} = 87\%$$

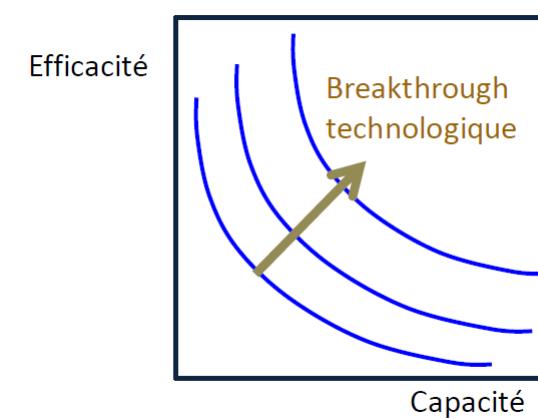
$$\text{Rendement massique réactionnel (reaction mass efficiency)} = \frac{\text{Masse du produit désiré}}{\sum \text{Masses des réactifs}}$$

# Opération unitaire: Défis (6)

Regarder les procédés selon l'approche «du berceau à la tombe»



Pour chaque opération, il faut trouver le bon compromis entre efficacité et capacité.

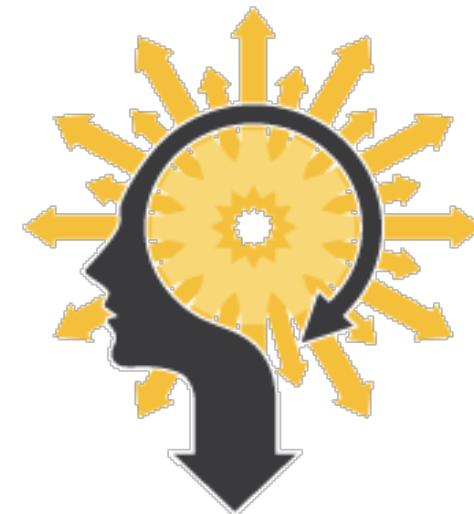


# Quelques ouvrages utilisés pour la conception du cours

- Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Online ISBN: 9783527306732
- Coulson and Richardson's Chemical Engineering, R. K. Sinnott, 2020, ISBN: 9789351073932
- W. McCabe, J. Smith, P. Harriott, Unit Operations of Chemical Engineering, 2021, ISBN: 9780071247108
- Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, 2014, Online ISBN: 9780471238966
- Perry's Chemical Engineers' Handbook, 9th Edition, 2019, ISBN: 9780071834087
- Emilian Koller, Aide-mémoire de Génie Chimique, 2013, ISBN: 9782100700738
- A. Rushton, A. S. Ward, R. G. Holdich , Solid-Liquid Filtration and Separation Technology, 2008 ISBN: 9783527614974
- S. Pereira Nunes, K.-V. Peinemann, Membrane Technology: in the Chemical Industry, 2006, ISBN: 978-3-527-31316-7
- Techniques de l'ingénieur, Opérations unitaires. Génie de la réaction chimique, 2025.

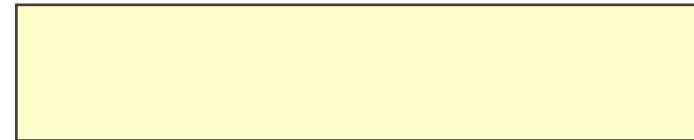
# Learning outcomes

- Choisir ou sélectionner les bons équipements
- Evaluer le choix des différentes technologies
- Proposer les solutions optimales
- Analyser les critères de choix d'équipements
- Confronter les contraintes et les désirs
- Dimensionner les bons équipements
- Utiliser les technologies adaptées
- Identifier les différentes options technologiques

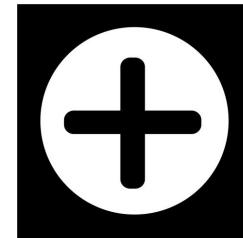


# Informations sur les documents du cours

- Le cours contenant beaucoup d'informations, les formules importantes seront mises en évidence (couleur)



- Des pages d'informations supplémentaires ou complémentaires plus approfondies seront marqués par ce symbole (elles ne seront pas examinées)



- Si vous trouvez des coquilles → merci de me les signaler

