

## Structure du cours

1. La science moderne
2. Les concepts de la démarche scientifique
3. La valeur des théories scientifiques
4. La dynamique de la production des connaissances
5. La démarche des (bio)ingénieurs



# Chapitre 5

## La démarche des (bio)ingénieurs



# La démarche de l'ingénieur

1. L'ingénierie
2. La spécificité de la connaissance de l'ingénieur



# La démarche de l'ingénieur

## 1. L'ingénierie

- Définition
- Etymologie et jalons historiques

## 2. La spécificité de la connaissance de l'ingénieur



# 1. L'ingénierie

## 1.1 Définition

L'ingénierie désigne toute activité relative à la **conception** et la **construction** d'**artefacts** qui transforment le monde physique qui nous entoure en vue de répondre **à un besoin** » (Rogers, 1983)

→ Conception, production d'artefacts  
+ **opérationnalisation** (Vincenti, 1990)



## Rappel :

La technologie renvoie aux objets et, par extension et à tout ce qui est lié à leur conception et à leur production

- Quels objets?
  - *Objets artificiels ou naturels modifiés = artefacts*
  - *Objets dotés d'une fonction (finalité) → moyens*
- Tout ce qui est lié à leur conception et production ?
  - connaissances et compétences, identification de l'objectif, conditions requises, conception, prototype, fabrication...

→ L'objet de l'ingénierie est bien la technologie



# La démarche de l'ingénieur

## 1. L'ingénierie

- Définition
- Etymologie et jalons historiques

## 2. La spécificité de la connaissance de l'ingénieur



## 1.2 Etymologie et jalons dans l'histoire de l'ingénierie

*Ingenium ?*

Aptitudes naturelles à comprendre, créer et inventer



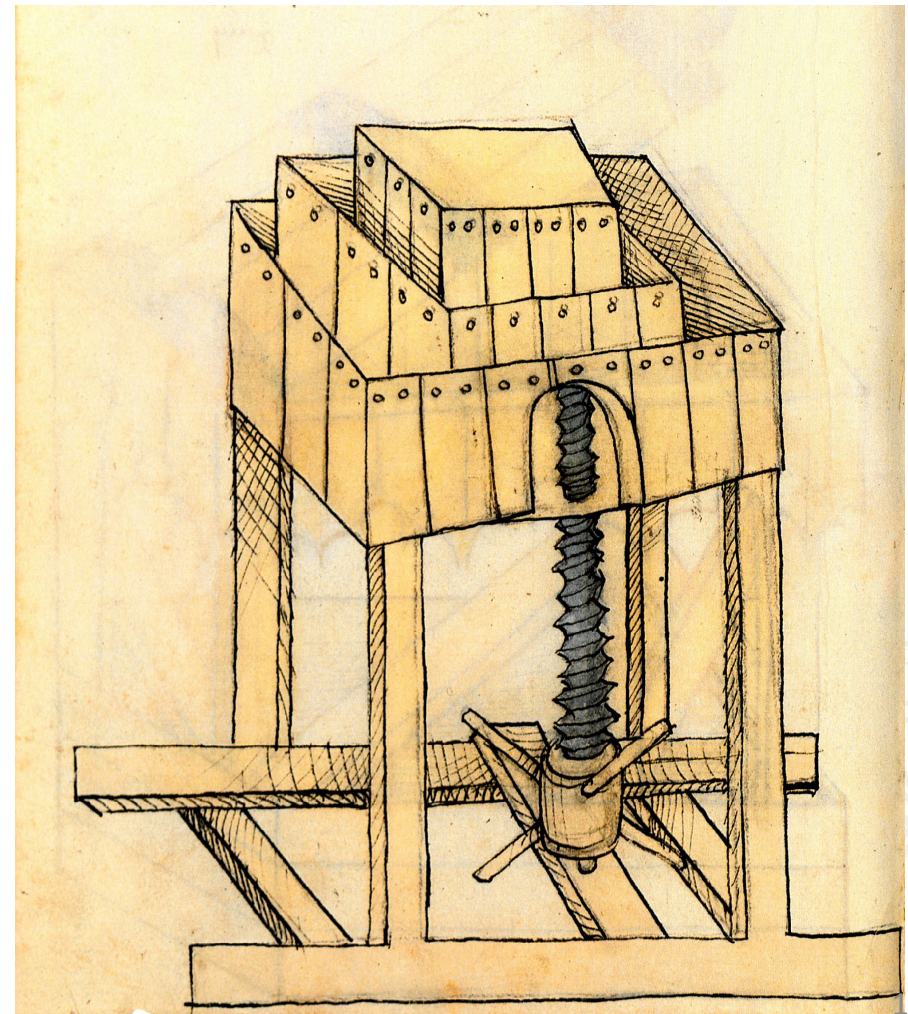


## Moyen Age


- *Ingenium*  
→ « engin » = machine de guerre
- « Engin »  
→ « ingénieur » = concepteur et constructeur d'engins de guerre

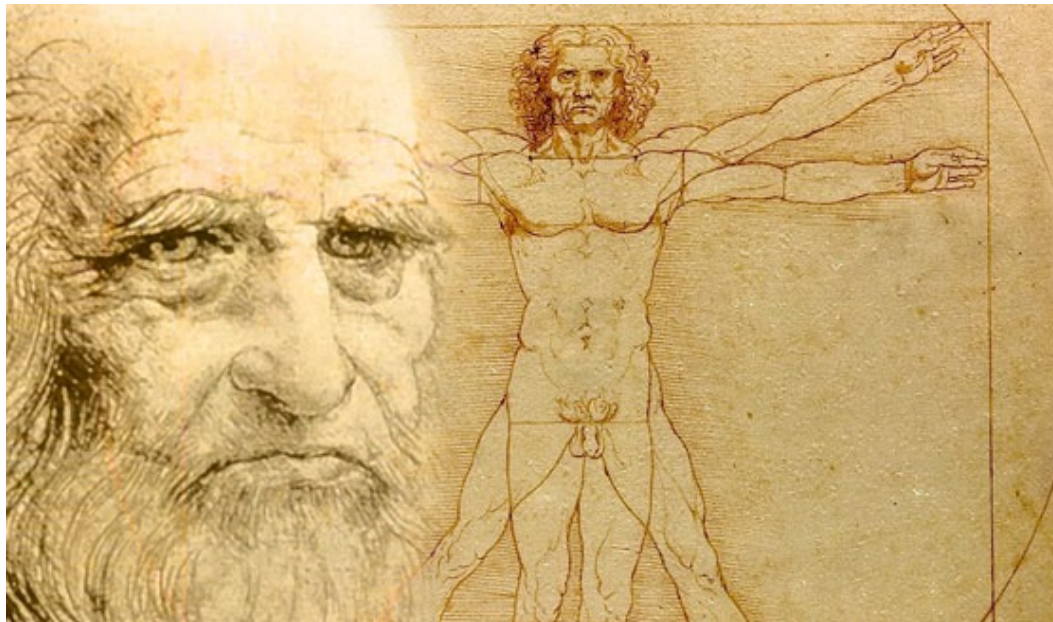


Exemple :  
Konrad Kyeser,  
ingénieur militaire  
allemand (1366-1405)



## Renaissance

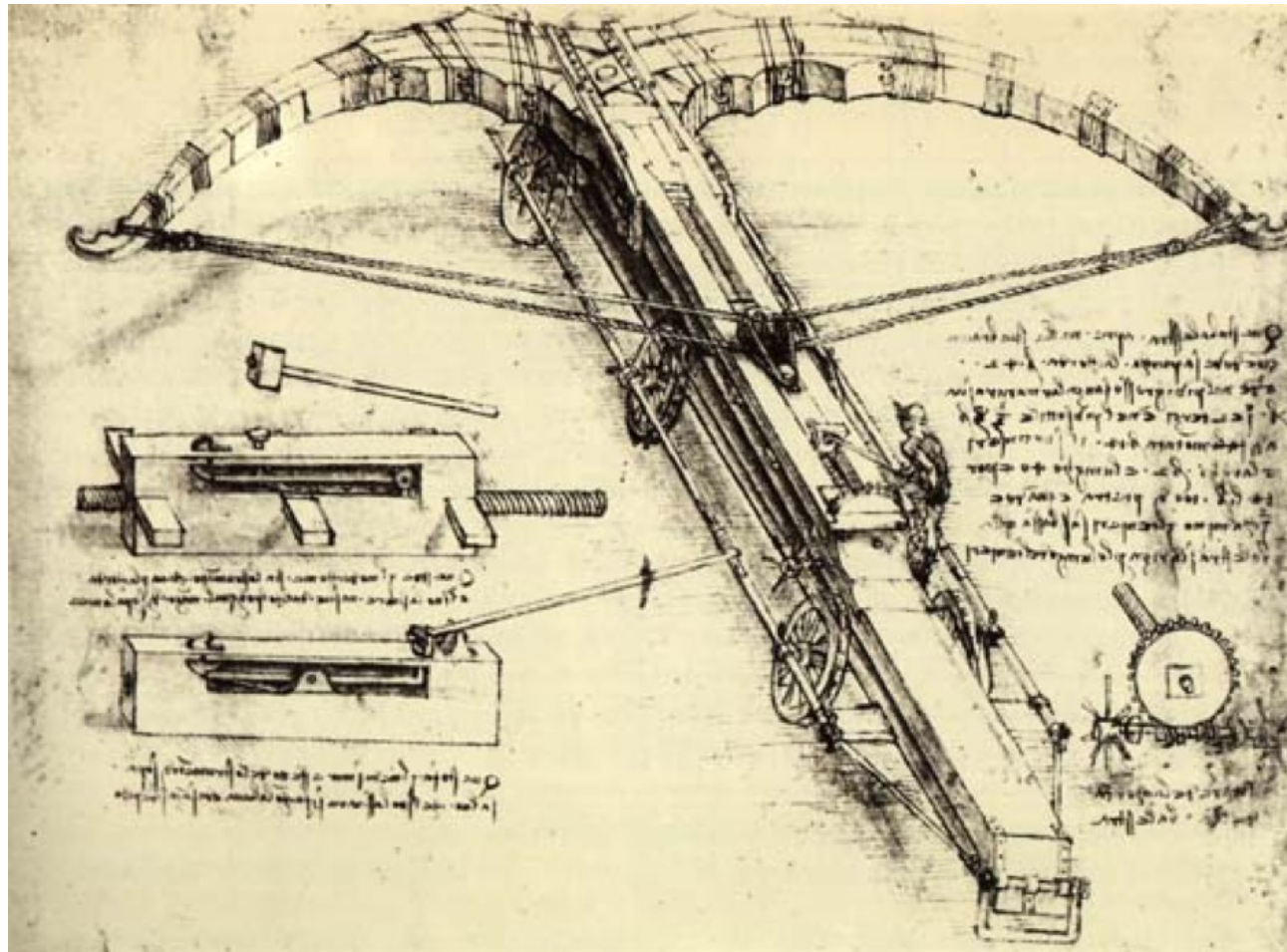
- Epoque d'ingénieurs par excellence
- L'ingénieur s'occupe de l'artillerie militaire mais aussi de la construction de bateaux, de ponts, etc. 
- Léonard de Vinci, homme "universel", qui se présente d'abord comme ingénieur






## De Vinci

- Ingénieur de guerre à Florence, mais aussi architecte et ingénieur hydraulicien



## De la Renaissance jusqu'à la révolution industrielle (XIX<sup>ème</sup> s.)

- Jusqu'à la révolution industrielle, l'ingénieur est plus proche de l'art et de l'artisanat que de la science
- Importance du savoir-faire (connaissances pratiques) 



Reconstitution de l'Hermione (fin XVIII<sup>ème</sup> s.)

- Souvent, les principes physiques qui sous-tendent un dispositif ne sont pas connus au moment de sa conception et de sa production
- La technologie se développe indépendamment de la science
  - Lenoir et le moteur à explosion (1860)
  - Gramme et le moteur électrique (1869)
- Fin XVIII<sup>ème</sup> s. : fondation d'écoles d'ingénieurs (Ecole polytechnique, Ecole des mines de Paris, etc.)



## La révolution industrielle

- Compétition et concurrence entre industriels
- Les industriels font appel aux scientifiques pour optimiser les rendements de leurs machines
- La technologie se lie intimement à la science



# La démarche de l'ingénieur

1. L'ingénierie
2. La spécificité de la connaissance de l'ingénieur





## 2. La spécificité de la connaissance de l'ingénieur

### 2.1 Conception courante

Implicitement...

Les connaissances scientifiques ?

➔ Connaissances *générées* par le scientifique

Les connaissances de l'ingénieur ?

➔ Connaissances *utilisées* par l'ingénieur

Révéléateur d'une conception communément partagée...



- Le scientifique « dévoile » les phénomènes naturels
- L'ingénieur conçoit des artefacts en appliquant les connaissances scientifiques
- ➔ Ingénierie = science appliquée
- ➔ Pas de connaissances spécifiques à l'ingénieur

Conception courante doublement réductrice :

- Le scientifique ne se contente pas de « dévoiler » les phénomènes naturels
- L'ingénieur développe son propre corpus de connaissances qui ont des caractéristiques différentes de la connaissance scientifique



## 2.2 Exemples de connaissances technologiques

### 2.2.1 Exemple 1 : La lampe à incandescence

Brevet de Thomas Edison (1879)



## UNITED STATES PATENT OFFICE.

THOMAS A. EDISON, OF MENLO PARK, NEW JERSEY

## ELECTRIC LAMP.

SPECIFICATION forming part of Letters Patent No. 223,898, dated January 27, 1880.

Application filed November 4, 1879.

To all whom it may concern:

Be it known that I, THOMAS ALVA EDISON, of Menlo Park, in the State of New Jersey, United States of America, have invented an Improvement in Electric Lamps, and in the method of manufacturing the same, (Case No. 186,) of which the following is a specification.

The object of this invention is to produce electric lamps giving light by incandescence, which lamps shall have high resistance, so as to allow of the practical subdivision of the electric light.

The invention consists in a light-giving body of carbon wire or sheets coiled or arranged in such a manner as to offer great resistance to the passage of the electric current, and at the same time present but a slight surface from which radiation can take place.

The invention further consists in placing such burner of great resistance in a nearly-perfect vacuum, to prevent oxidation and injury to the conductor by the atmosphere. The current is conducted into the vacuum-bulb through platinum wires sealed into the glass.

The invention further consists in the method of manufacturing carbon conductors of high resistance, so as to be suitable for giving light by incandescence, and in the manner of securing perfect contact between the metallic conductors or leading-wires and the carbon conductor.

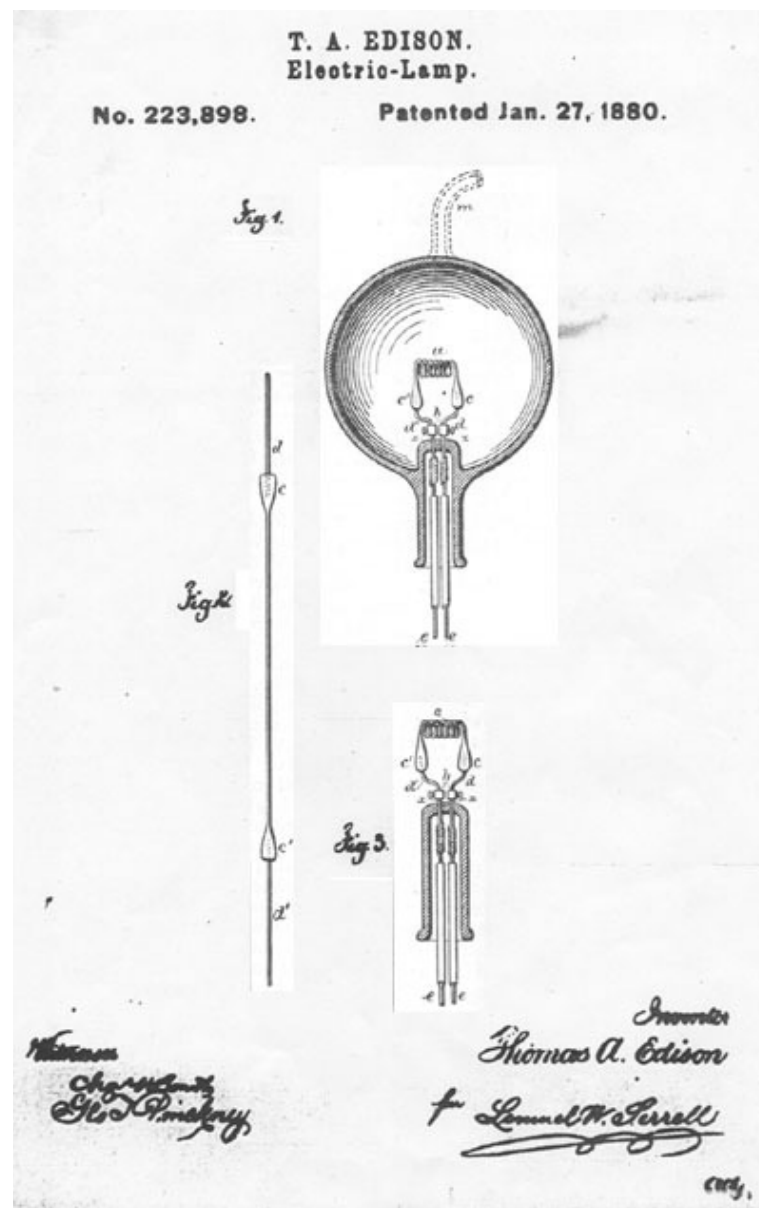
Heretofore light by incandescence has been obtained from rods of carbon of one to four ohms resistance, placed in closed vessels, in which the atmospheric air has been replaced by gases that do not combine chemically with the carbon. The vessel holding the burner has been composed of glass cemented to a metallic base. The connection between the leading wires and the carbon has been obtained by clamping the carbon to the metal. The leading-wires have always been large, so that their resistance shall be many times less than the burner, and, in general, the attempts of previous persons have been to reduce the resistance of the carbon rod. The disadvantages of following this practice are, that a lamp having but one to four ohms resistance cannot be worked in great numbers in multiple arc without the employment of main conductors of enormous dimensions; that, owing to the low resistance of the lamp, the leading-wires must be of large

dimensions and good conductors, and a glass globe cannot be kept tight at the place where the wires pass in and are cemented; hence the carbon is consumed, because there must be almost a perfect vacuum to render the carbon stable, especially when such carbon is small in mass and high in electrical resistance.

The use of a gas in the receiver at the atmospheric pressure, although not attacking the carbon, serves to destroy it in time by "air-washing," or the attrition produced by the rapid passage of the air over the slightly-coherent highly-heated surface of the carbon. I have reversed this practice. I have discovered that even a cotton thread properly carbonized and placed in a sealed glass bulb exhausted to one-millionth of an atmosphere offers from one hundred to five hundred ohms resistance to the passage of the current, and that it is absolutely stable at very high temperatures; that if the thread be coiled as a spiral and carbonized, or if any fibrous vegetable substance which will leave a carbon residue after heating in a closed chamber be so coiled, as much as two thousand ohms resistance may be obtained without presenting a radiating surface greater than three-sixteenths of an inch; that if such fibrous material be rubbed with a plastic composed of lamp-black and tar, its resistance may be made high or low, according to the amount of lamp-black placed upon it; that carbon filaments may be made by a combination of tar and lamp-black, the latter being previously ignited in a closed crucible for several hours and afterward moistened and kneaded until it assumes the consistency of thick putty. Small pieces of this material may be rolled out in the form of wire as small as seven one-thousandths of an inch in diameter and over a foot in length, and the same may be coated with a non-conducting non-carbonizing substance and wound on a bobbin, or as a spiral, and the tar carbonized in a closed chamber by subjecting it to high heat, the spiral after carbonization retaining its form.

All these forms are fragile and cannot be clamped to the leading wires with sufficient force to insure good contact and prevent heating. I have discovered that if platinum wires are used and the plastic lamp-black and tar material be molded around it in the act of carbonization there is an intimate union by com-

Référence : (Meijers &amp; Kroes, 2013)





Brevet concerne le design et la production de l'ampoule. Il comporte différents types de connaissances :

### 1. Connaissances structurelles

Description de la structure de l'artefact et de ses propriétés

= « science appliquée »

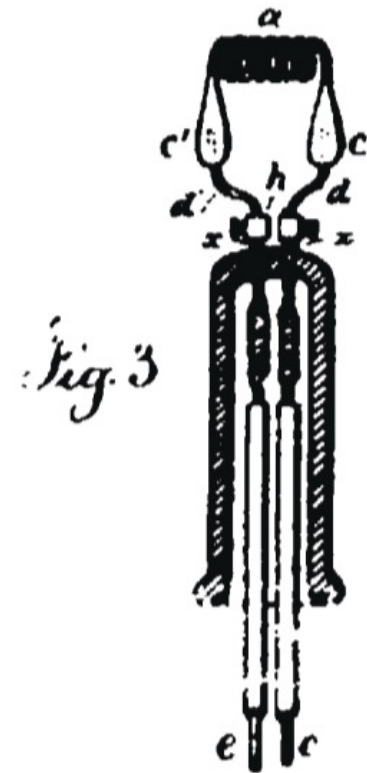
« The current is conducted into the vacuum-bulb through platinum wires sealed into the glass »

### 2. Connaissances fonctionnelles

Quelle est la fonction de l'objet et comment fonctionne-t-il?

Description des fonctions de l'artefact et des sous-fonctions de ses composants et description de la manière dont la structure est liée à la fonction

« 'h h are the clamps, which serve to connect the platina wires, cemented in the carbon, with the leading-wires x x' »



### 3. Connaissances **prescriptives**

Comment produire l'ampoule ?

Connaissances relatives aux actions prescrites pour produire l'artefact ou le faire fonctionner

« The invention further consists in the method of manufacturing carbon conductors of high resistance, so as to be suitable for giving light by incandescence, and in the manner of securing perfect contact between the metallic conductors or leading-wires and the carbon conductor.”

### 4. Connaissances relatives à la conception (*design knowledge*)

Comment concevoir un artefact satisfaisant la fonction attendue?

Connaissances visant à répondre à la question: comment réaliser un artefact qui produise une certaine fonction en inventant et en fabriquant des structures physiques/chimiques?



## 5. Savoir-faire pratique/ compétences

Implicites dans le brevet...

“that carbon filaments may be made by a combination of tar and lamp-black, the latter being previously ignited in a closed crucible for several hours and afterward moistened and kneaded until it assumes the consistency of thick putty. Small pieces of this material may be rolled out in the form of a wire as small as seven one-thousands of a inch in diameter and over a foot in length ...”

→ Le design de l'ampoule à incandescence comprend un volet « sciences appliquées », mais engage également d'autres types de connaissances

→ Il y a un corpus de connaissances spécifiques à l'ingénierie



## 2.2.1 Exemple 2 : L'analyse par volume de contrôle (AVC) en mécanique des fluides

### La mécanique des fluides pour le scientifique

- Intérêt pour la manière dont la matière évolue dans un système
- Détermination et résolution des équations qui décrivent l'évolution de la matière
- Applicable pour les systèmes idéalisés



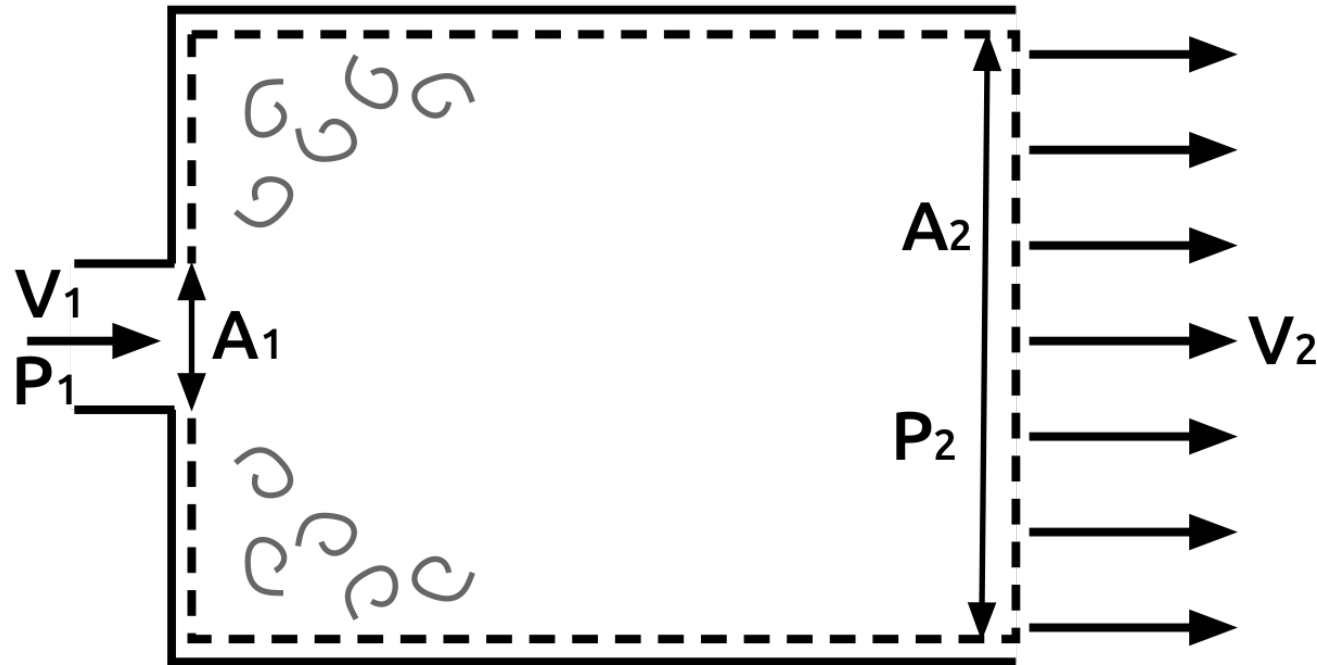


## La mécanique des fluides pour l'ingénieur

- L'ingénieur s'intéresse à des dispositifs complexes impliquant des écoulements de fluides... pour lesquels les théories scientifiques ne sont pas directement applicables
- Nécessité de développer des connaissances dans le cadre de la conception de ces dispositifs
- Créativité de l'ingénieur
  - ➔ Connaissances empiriques
  - ➔ Outils et connaissances analytiques



## L'analyse par volume de contrôle (Vincenti, 1990)



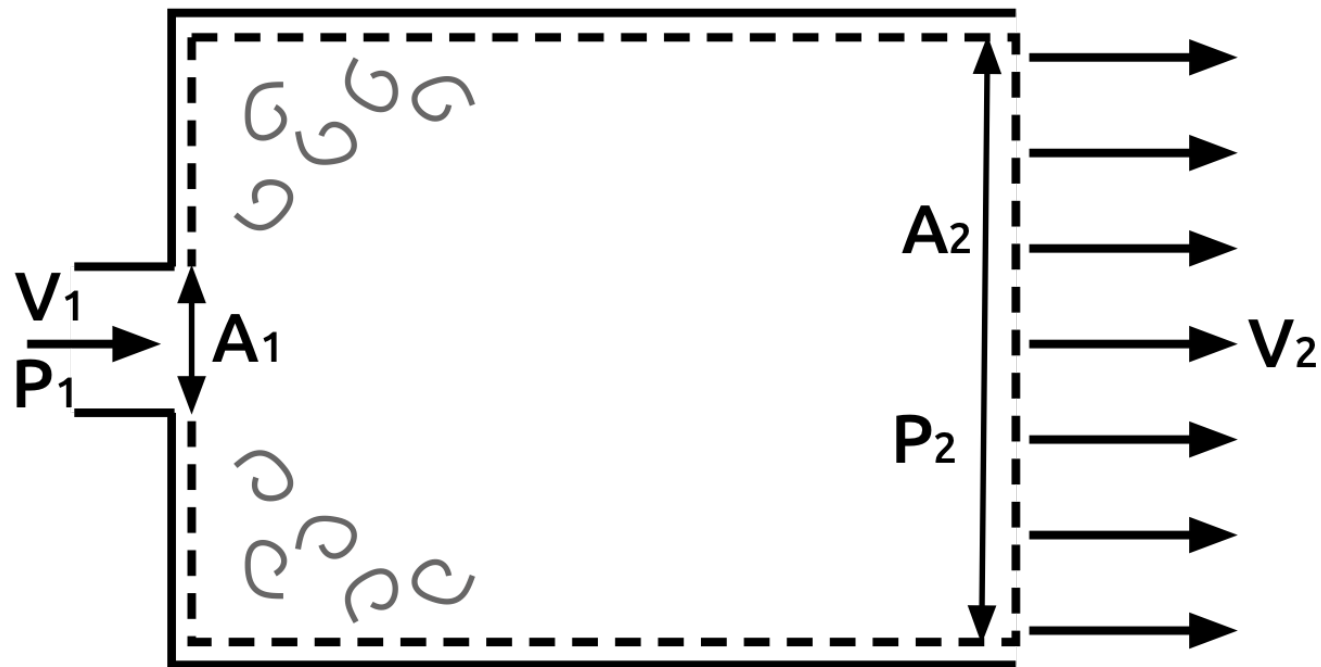
Volume de contrôle (VC) = volume imaginaire au travers duquel un fluide s'écoule et sur lequel on procède au bilan intégral d'une grandeur physique (masse, quantité de mouvement ou énergie)



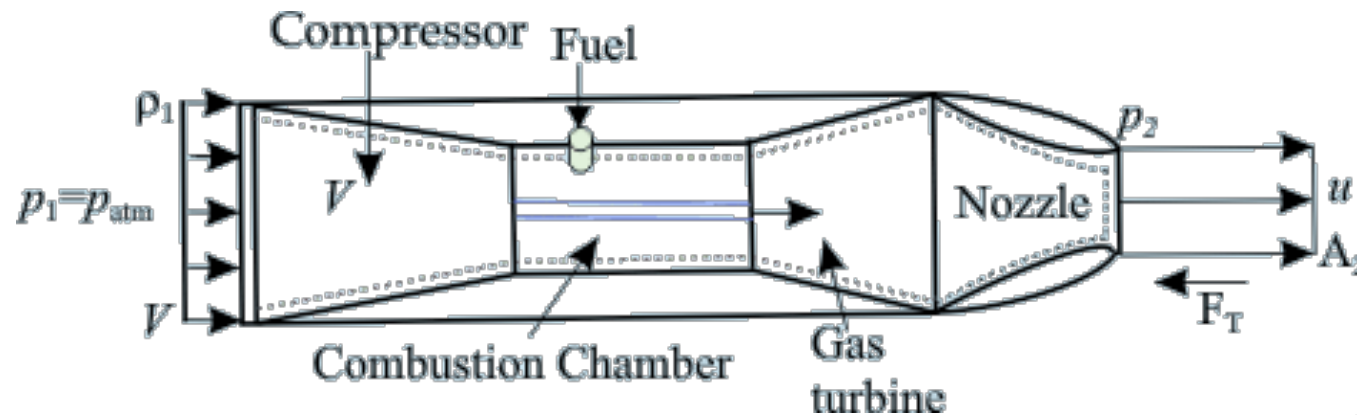
- L'ingénieur s'intéresse à un volume déterminé à travers lequel s'écoule un fluide plutôt qu'à l'évolution d'une quantité de matière déterminée
- Intérêt ? L'ingénieur choisit le VC en fonction des données disponibles et de ce qu'il doit déterminer
- Bilan des grandeurs physiques via les principes de conservation (transformés pour être exprimés en termes de flux pour un volume de contrôle)



## Cas simple : élargissement brusque dans une conduite



Résolution de problèmes complexes en se contentant de connaître les conditions aux limites, sans devoir comprendre les phénomènes physiques complexes en jeu



## Par rapport aux connaissances scientifiques ?

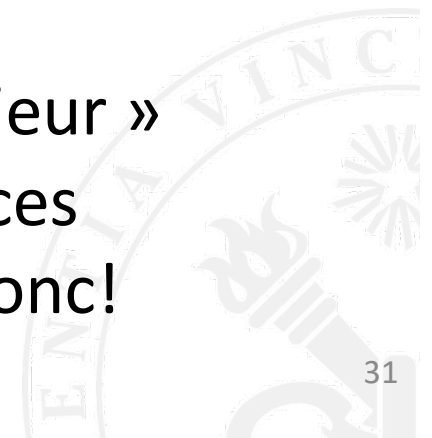
- L'AVC permet à l'ingénieur de résoudre des problèmes lorsque les connaissances scientifiques sont inapplicables
- Outil fondé sur des connaissances scientifiques reformulées pour être utiles à l'ingénieur
- Absent des manuels de mécanique des fluides ou de thermodynamique pour scientifiques

➔ Exemple de connaissance propre à l'ingénieur



## Mais, nuance :

- AVC = exemple de connaissance orienté ingénieur
- Mais, en général, la frontière entre les connaissances scientifiques et celles de l'ingénieur est floue
  - Physique
  - Conception de moteurs
  - Thermodynamique ?
- Ces formes de savoir peuvent être considérées comme un continuum
- Ici, on se focalise sur l'extrémité « ingénieur » de la connaissance... caractérisation de ces connaissances (section 2.3) à nuancer donc!



## 2.3 Caractérisation de la connaissance de l'ingénieur

### L'AVC montre que

- Connaissances de l'ingénieur liées aux objectifs de l'ingénieur
  - Objectifs : Concevoir, produire et faire fonctionner un dispositif technique
  - AVC : Connaissances directement liées aux exigences du design
  - Inséparabilité des connaissances et de leurs applications pratiques chez l'ingénieur
  - Savoir orienté





- L'ingénieur est en prise avec le réel, ses connaissances doivent intégrer des

- Contraintes physiques
- Contraintes sociétales (sanitaires, environnementales...)
- Contraintes économiques
- Contraintes de temps

→ L'ingénieur doit faire des compromis  
car conflits de valeurs → Importance de l'éthique



- Influence du contexte sociétal sur la connaissance de l'ingénieur (cf inséparabilité des connaissances et de leurs applications pratiques chez l'ingénieur)

Ex : histoire du développement de l'AVC

- AVC systématisée au XX<sup>ème</sup> s., pour répondre aux besoins de l'aéronautique
- AVC généralisée aux fluides compressibles après la seconde GM (vitesse des vols)

Remarque :

la création d'artefacts – et la connaissance qui y est associée – se fait toujours par rapport à un certain contexte → par rapport à un ensemble d'artefacts existants



- Validité des connaissances de l'ingénieur est fonction de leur utilité dans la conception/production d'artefacts
- Recherche de l'efficacité
- Acceptabilité de résultats « globaux » dans le cadre du design... mais exigence de précision compte tenu des enjeux (coût d'une erreur de calcul!)



La connaissance de l'ingénieur se caractérise aussi par :

- sa pluridisciplinarité (*polytechnique*)
- sa dimension normative



## Herbert Simon (prix Nobel d'économie, 1978)

- L'objectif des sciences de la nature est de produire des connaissances sur « les choses telles qu'elles sont » (conception moderne!)
  - L'objectif des sciences de l'ingénieur est de produire des connaissances sur « les choses telles qu'elles devraient être » (Simon, 1969) pour augmenter le bien-être des individus (Davis, 1995)
  - Dans cette perspective, l'activité du scientifique est descriptive, celle de l'ingénieur est normative
- Importance de l'éthique



# Conclusions

- L'ingénieur ne se contente donc pas d'appliquer les connaissances scientifiques
- Il a aussi recours à d'autres formes de connaissances, à un savoir original



