

Science naturelle

Gianni Mocellin

Introduction	6
Nature et mesure	8
Langage	14
Définitions	14
<i>Nature</i>	14
<i>Univers</i>	14
<i>Temps</i>	15
<i>Réalité</i>	15
<i>Entités</i>	15
<i>Propriétés</i>	15
<i>Qualités</i>	16
<i>Unités</i>	16
<i>Quantités</i>	16
<i>Magnitudes</i>	17
Opérations	17
Indices	26
<i>La vitesse de circulation de la richesse</i>	28
<i>Le rendement</i>	28
Notation	29
Les qualités pures	33
Migrations	39
Vérification des unités	42
Equations financières	42
<i>Equations linéaires</i>	43
<i>Equations exponentielles</i>	44
<i>Equations logarithmiques</i>	45
<i>Flots</i>	45
Modélisation	46
<i>Méthode de base</i>	46
<i>Vagues</i>	48
<i>Finance</i>	49
Unités vectorielles.....	51
<i>Les compositions sans unités</i>	54
<i>Baromètre</i>	54
<i>Le théorème Pi</i>	55
Prototype	55
Evénement	56
Idéalisation	57
Les principes d'idéalisation	57
Principe d'homogénéité	57
Principe de continuité	57
Principe de symétrie	57
Les nombres	57
Les idées	58
Le temps	59
Les conventions	60
La valeur	60
La manipulation des idées	60
Principe de modulation.....	60

Principe de conjonction	61
Principe de composition	61
Principe de proportion.....	61
Les égalités réelles.....	61
Les lois de la nature	61
Histoire	62
1'452-1'519 Da Vinci Leonardo	62
1'468-1'472: Apprentissage chez Verrochio (16-20 ans).....	62
1'472: Pose de la sphère de cuivre de Santa Maria del Fiore (20 ans).....	62
1'475: Chute des corps (23 ans).....	62
1'476: Procès (24 ans).....	62
1'482: Départ pour Milan (30 ans).....	63
1'490: L'homme de Vitruve.....	63
1'495: Lumière.....	63
1'496: Rencontre avec Pacioli qui arrive à la Cour des Sforza à Milan.....	63
1'499: Départ de Milan pour Venise avec Pacioli.....	63
1'501: Retour à Florence.....	63
1'505: 53 ans, rencontre avec Machiavel, 36 ans.....	63
1'506: Retour à Milan.....	63
1'507, 1'509, 1'510: Trois procès.....	63
1'510: Traité d'anatomie.....	64
1'513: Départ pour Rome (61 ans).....	64
1'515: Lion robot pour François 1er (63 ans).....	64
1'516: Départ pour Blois (63 ans).....	64
1'519: Codes atlanticus.....	64
1'469-1'527 Machiavelli Nicolo	64
1'502: "Discorso sopra la provisione del denaro".....	64
1'505: 36 ans, rencontre avec Léonard, 53 ans.....	64
1'513: "Le prince".....	64
1'520: "L'art de la guerre".....	64
1'564-1'642 Galileo Galilei.....	64
Travail	65
1'590: "De motu".....	65
1'600: "Le mecaniche".....	65
1'610: "Siderus nuncius".....	65
1'610: Retour à Florence pour Cosimo de Medicis à qui il avait donné des leçons.....	65
1'612: "Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua, o che in quella si muovono".....	65
1'623: "Il saggiatore".....	65
1'632: "Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo".....	65
1'638: "Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze".....	65
Causalité	65
Relativité.....	67
1'643-1'727 Newton Isaac	67
1'669: Calcul différentiel.....	67
1'669: "De analysi per aequationes numero terminorum infinitas".....	67
1'687: "Philosophiae naturalis principia mathematica".....	67
L'espace et le temps.....	67
Masse.....	67
Impulsion (vis viva).....	68
Inertie (via insita).....	68
Travail	68
Lumière	69
1'704: "Optics".....	69
1'646-1'716 Leibniz Gottfried.....	69
1'666: "De arte combinatorica".....	69
1'684: "Nova mehtodus pro maximis et minimis".....	69
1'695: "Système nouveau de la nature et de la communication des substances.....	69

1'796-1'832 Carnot Sadi	69
1'824: "Réflexions sur la puissance motrice du feu"	70
1'831-1'879 Maxwell James Clark	70
Travail:	70
1'861: Première photographie en couleur	70
1'873: "A treatise on electricity and magnetism"	70
1'877: "Matter and motion"	70
1'908: "Theory of heat".....	71
1'877: "Matter and motion"	71
Force:	76
Impulsion:	76
1'877: "Matter and motion"	76
Masse:	76
1'842-1'919 Rayleigh John	77
1'877: "Theory of sound"	77
1'854-1'912 Poincaré Henri	77
1'900: "La théorie de Lorentz et le principe de réaction"	77
1'902: "La science de l'hypothèse"	77
1'905: Ondes gravitationnelles	77
1'905: "Sur la dynamique de l'électron"	77
1'908: "Thermodynamique"	77
1'854-1'924 Föppl August	77
1'892: "Das Fachwerk im Raume"	78
1'894: "Einführung in die Maxwellsche Theorie der Elektrizität"	78
1'896: Physique systématique	78
1'896: "Die Geometrie der Wirbelfelder".....	78
1'892: "Das Fachwerk im Raume".....	78
1'920: "Drang und Zwang: eine höhere Festigkeitlehre für Ingenieure"	78
1'856-1'939 Freud Sigmund	78
1'910: "Leonardo da Vinci: a memory of his childhood".....	78
1'912: "La dynamique du transfert".....	78
1'912: "Totem et tabou".....	78
1'857-1'899 Vaschy Aimé	78
1'890: "Traité d'électricité et de magnétisme"	78
1'892: "Sur les lois de similitude en physique"	78
1'892: "Sur les lois de similitude en électricité"	78
1'893: "Sur une propriété générale des champs admettant un potentiel"	78
1'894: "Théorème général sur les actions en raison inverse du carré des distances".....	78
1'895: "Sur la définition des masses et des forces".....	78
1'897: "Etudes des propriétés expérimentales des diverses énergies".....	79
1'867-1'940 Buckingham Edgar	79
1'902: "Theory of thermodynamics".....	79
1'914: Théorème pi	79
1'914: "On the similarity of physical systems"	79
1'915: "The similitude principle"	79
1'915: "Model experiments and the form of empirical equations".....	79
1'920: "Jet propulsion for airplanes".....	79
1'875-1'961 Jung Gustav	79
1'912: "Psychoanalysis".....	79
1'928: "Über die Energetik der Seele" ("L'énergie psychique").....	79
1'934: "Les archétypes de l'inconscient collectif"	79
1'957: "Gegenwart und Zukunft" ("Présent et futur").....	79
1'964: "L'homme et ses symboles" (métaphores)	79
1'879-1'955 Einstein Albert	79
1'905: "Electrodynamique des corps mouvants".....	80
1'882-1'961 Bridgman Percy	80
1'922: "Dimensional Analysis".....	80
1'936: "The nature of physical theory"	80
1'950: "Reflections of a physicist"	80

1'959: "The way things are"	80
1'896-1'980 Piaget Jean	80
1'923: "Le langage et la pensée chez l'enfant"	80
1'926: "La représentation du monde chez l'enfant"	81
1'927: "La causalité physique chez l'enfant"	81
1'936: "La naissance de l'intelligence chez l'enfant"	81
1'937: "La construction du réel chez l'enfant"	81
1'941: "Le développement des quantités chez l'enfant: conservation et atomisme"	81
1'942: "Classes, relations et nombres"	81
1'946: "Le développement de la notion de temps chez l'enfant"	81
1'947: "La psychologie de l'intelligence"	81
1'948: "La géométrie spontanée chez l'enfant"	81
1'949: "La représentation de l'espace chez l'enfant"	81
1'950: "Introduction à l'épistémologie génétique"	81
1'950: "La pensée physique"	81
1'952: "Essai sur les transformations des opérations logiques: les 256 opérations ternaires"	81
1'964: "L'épistémologie de l'espace"	81
1'967: "Logique et connaissance scientifique"	81
1'968: "Le structuralisme"	81
1'971: "Les explications causales"	81
1'972: "La direction des mobiles lors de chocs et de poussées"	81
1'972: "La transmission des mouvements"	81
1'973: "La formation de la notion de force"	81
1'973: "La composition des forces et le problème des vecteurs"	81
1'983: "Psychogénèse et histoire des sciences"	81
1'909-1'992 Langhaar Henry	82
1'951: "Dimensional Analysis and the Theory of Models"	82
1'930- 2'000 Szücs Ervin	82
1'976: "Dialoge über technische prozesse"	82
1'980: "Similitude and modeling"	82
1'932-1'977 Solari Luigi	82
1'961: "De l'économie qualitative à l'économie quantitative"	82

Introduction

Un jour de 2'007, un professeur anglais

Collins Michael, un ancien de Oxford

m'a contacté pour que j'écrive un chapitre du livre

"Kelvin, thermodynamics and the natural world"

un livre multi-auteurs destiné à fêter le centième anniversaire de la mort de

Thomson William - Baron Kelvin

Il voulait que j'écrive un chapitre sur

"la thermodynamique"

que l'on peut considérer selon Kelvin comme

"le paradis de la science naturelle"

J'ai accepté et demandé à mon ami Thoma Jean, un physicien ayant fait une thèse avec Pauli Wolfgang à l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich, s'il voulait participer à cette aventure

Le chapitre

"Entropy as thermal charge

An application with bond-graphs inspired by Carnot and his cycle"

se trouve à la page 273

du livre qui a été publié en 2'016

Le présent document relate quant à lui des discussions sur
"la science naturelle"
qui ont eu lieu à la suite de la publication du livre dans les bureaux de
Straco
une société spécialisée en conseil scientifique basée à Genève
entre
Anne de Genève
une psychologue-linguiste s'intéressant à l'épistémologie
Léon de Venise,
un mathématicien-informaticien spécialisé en intelligence artificielle
et
Jean de Paris,
un entrepreneur-financier expert en géopolitique et géostratégie

Nature et mesure

JEAN

En quoi consiste

"la science naturelle"

ANNE

La science naturelle est une activité de la pensée qui consiste à

"comprendre la réalité"

Il va de soi que la réalité étudiée est très variable

et que

une bonne compréhension de cette réalité ne résulte que d'une expérience de cette dernière

Seuls des ingénieurs peuvent choisir

"les propriétés de la réalité technique"

permettant de la comprendre

et

seuls les financiers peuvent choisir

"les propriétés de la réalité financière"

permettant de la comprendre

LEON

En technique

il suffit de connaître quelques propriétés primaires de la nature pour comprendre toute la thermodynamique

"la masse, la longueur, l'angle, la température, la pression, le potentiel électrique, le potentiel chimique"

JEAN

En finance

le problème n'est pas aussi simple car il me semble impossible de définir un petit ensemble de propriétés primaires à utiliser dans n'importe quel cas

ANNE

"la réalité financière"

peut être comprise aussi bien que

"la réalité technique"

Ce qu'il faut comprendre c'est en quoi consistent

"les lois de la nature"

celles qui permettent de comprendre

"la nature"

qu'elle soit technique ou économique

En première approche on peut dire que cette science consiste à identifier

"des entités dans la réalité"

puis

"des propriétés dans ces entités"

puis

"des unités dans ces propriétés pour les rattacher aux nombres"

puis

"de moduler ces unités par des magnitudes pour obtenir des quantités"

puis

"de combiner ces quantités à volonté pour en obtenir de nouvelles plus pertinentes"

LEON

Selon les scientifiques, une même propriété de la réalité comme

"le rayon de la terre"

peut être quantifiée comme

6'400'000 x mètres

c'est-à-dire

$6.4 \times 10^{+6}$ x mètres

ou

0.000'0021 x parsecs

c'est-à-dire

2.1×10^{-6} x parsecs

Les unités choisies, le mètre ou le parsec, sont toutes deux des unités de distance

Elles n'ont pas d'importance dans la compréhension de la réalité.

Le nombre change énormément devant l'unité utilisée mais la propriété de la réalité reste constante quant à elle

ANNE

Une différence d'unité, si elle implique un changement de la magnitude d'une propriété n'affecte en rien la propriété évaluée

JEAN

Si je comprends bien, parler d'une réalité en donnant seulement une magnitude sans unité, n'a aucun sens scientifique

ANNE

Parler de

"richesse"

en donnant simplement un nombre

"1'000'000"

n'a aucun sens s'il n'est pas rattaché à une unité

"1'000'000 x \$"

JEAN

"une quantité"

qui est

"le produit d'une magnitude par une unité"

donne effectivement

"une bonne idée de la réalité"

L'ensemble des mots

"réalité, entité, propriété, qualité, unité, magnitude, quantité"

semble permettre de construire

"de bonnes idées de la réalité"

LEON

Des phrases telles que

"les corps magnétiques"

exercent des attractions les uns sur les autres"

"les corps magnétiques"

exercent des répulsions les uns sur les autres"

et

"les êtres vivant"

se font confiance les uns les autres"

"les êtres vivant"

se méfient les uns les autres"

sont bien des idées sur la réalité

mais elles ne sont que

"qualitatives"

et non

"quantitatives"

ANNE

La pensée cherche en permanence à comprendre tant qualitativement que quantitativement
les raisons profondes du comportement de la réalité

Après avoir saisi

"le quoi"

la pensée cherche le

"le pourquoi"

et ensuite

"le comment"

On pourrait dire que

"la science naturelle"

est une méthode systématique

pour

"comprendre"

la réalité

JEAN

Je peux donc dire que

"la mesure"

ne peut intervenir qu'après

"la compréhension"

ANNE

Une fois qu'un scientifique a construit

"une compréhension de la réalité"

il va faire

"des observations ou des expériences"

pour

"mesurer des magnitudes"

à mettre en face des unités qu'il a identifiées dans des propriétés de la réalité

Ce qu'il faut bien saisir avant tout c'est la signification du mot

"comprendre"

LEON

En termes d'intelligence artificielle, le mot

"comprendre"

peut être compris comme

"prendre ensemble"

Les symboles les plus classiques utilisés pour représenter cette idée sont

des tirets

-

des paires de parenthèses

()

des paires de crochets

[]

des paires d'accolades

{ }

ou encore

des paires de guillemets

" "

Langage

Définitions

JEAN

Outre le mot

"nature"

j'aimerais qu'on définisse clairement les mots

"univers, réalité, entité, propriété, qualité, unité, magnitude, quantité, mesure"

ANNE

En effet, ce sont ces mots qui sont à de base à la science naturelle et toute confusion entre eux entraîne forcément

"des incompréhensions"

Nature

Le mot

"nature"

est un mot qui désigne

"ce qui prend naissance"

ce qui implique forcément

"une origine"

Univers

Le mot

"univers"

désigne

"tout ce qui est né"

"tout ce qui est"

Temps

Le mot

"temps"

désigne

"l'origine de la pensée"

Réalité

Le mot

"réalité"

désigne

"ce qui entoure la pensée"

Entités

Dans la réalité, la pensée peut identifier

"des entités"

des parties de la réalité qu'elle considère comme

"des individualités"

qui ont leur propre

"id-entité"

Propriétés

Dans les entités que la pensée a identifiées dans la réalité, la pensée peut identifier

"des propriétés"

Les propriétés des entités ne peuvent pas forcément être

"rangées dans un certain ordre"

Les nombres ne leur sont pas directement applicables

Qualités

Les propriétés auxquelles la pensée peut attacher un certain ordre peuvent être appelée

"des qualités"

Le nombre attaché à une qualité sert alors simplement à

"indiquer sa position dans un certain ordre"

et

l'association entre le nombre et la propriété est faible et loin d'être unique

Unités

Dans les propriétés des entités, la pensée est capable de distinguer

"des unités"

Elle est capable d'attacher le nombre 1 à

"un morceau de propriété"

ce qui entraîne un lien étroit entre les propriétés et les nombres

Quantités

Avec les unités les nombres de

"ordinaux"

permettant d'ordonner, de classer, comme pour les quantités deviennent

"cardinaux"

c'est-à-dire qu'ils possèdent des propriétés que ne possèdent pas les nombres ordinaux

Ils sont

"additifs"

"multiplicatifs"

"associatifs"

et

"distributifs"

c'est à dire qu'ils peuvent être additionnés, multipliés, associés et distribués pour former d'autres nombres

Etant donné le lien étroit entre les nombres et les unités, ces propriétés sont transmises aux

"quantités"

qui deviennent ainsi des idées

"quantitatives"

Magnitudes

Afin de bien distinguer

"un nombre considéré comme tel"

de

"un nombre figurant dans une quantité"

on peut appeler

"magnitude"

un nombre qui est attaché à une unité dans une quantité

Opérations

Les quantités, outre pouvoir être

"associées"

comme les nombres et hériter de leur propriété de

"distributivité"

ont des propriétés supplémentaires par rapport aux nombres

Elle peuvent être

"conjointes"

par

"*adjonction*" ou "*subjonction*"

Elles peuvent être

"*conjectées*"

par

"*éjection*" et "*injection*"

Et elles peuvent être

"*composées*"

par

"*imposition*" ou "*opposition*"

Les mots

"*masse, univers et temps*"

sont des exemples de quantités

Les mots

"*quantity, quantité, quantità, Quantität*"

représentent chacun dans leur langue respective

anglais, français, italien et allemand

"*une quantité*"

et non

"*une qualité*"

pour laquelle il faut utiliser les mots

"*quality, qualité, qualità, Qualität*"

Dans ces 4 langues, le concept de "*qualité*" est souvent défini négativement par une périphrase:

"*unmeasurable quantity*"

"quantité non mesurable"

"quantità non misurabile"

"unmessbare Quantität"

Les quantités sont donc par définition des

"qualités mesurables"

ce que ne sont pas les qualités elles-mêmes

LEON

Les scientifiques parlent souvent de

"espace vectoriel"

pour parler des quantités et les distinguer des qualités

Par cette image, ils veulent dire que

"les quantités"

peuvent être conçues

"en termes vectoriels"

c'est-à-dire qu'elles sont dotées des propriétés fondamentales des vecteurs, à savoir d'être

"modulés par une magnitude"

"conjoints"

c'est-à-dire

"adjoints" et "disjoints"

"conjectées"

c'est-à-dire

"éjectés" et "injectés"

et

"composés"

c'est-à-dire

"imposés" et "opposés"

en outre

"les quantités peuvent être distribuées sur une addition de magnitudes"

et

"une addition de magnitudes peut être distribuée sur des quantités"

JEAN

Je ne vois pas très bien ce que tout ça a à voir avec la finance

LEON

"les quantités monétaires"

peuvent être comparées entre elles pourvu que

"un taux de change"

existe

Par exemple

"la richesse"

peut s'exprimer comme

"une quantité monétaire"

et on peut très facilement utiliser le symbole

"R"

pour la représenter

L'utilisation de

"\$"

comme unité de mesure résulte d'un libre choix de la pensée

Il est purement arbitraire et n'a aucune influence sur la richesse elle-même

La pensée aurait pu choisir

"€"

comme unité

Seuls les nombres figurant devant les unités changeraient, mais pas la richesse.

Mais attention

"*compter*"

et

"*mesurer*"

ne sont pas les mêmes opérations mentales

On

"*compte*"

si on représente une entité en termes de

"*unités non convertibles*"

c'est-à-dire en termes d'unités qui ne peuvent être converties facilement ou même ne sont pas destinées à être converties

JEAN

Comme certaines entités financières non convertibles

"*les droits de tirages spéciaux, D. T. S.*"

ou encore

"*les monnaies numériques, sans garantie et non reconnues par les institutions des états*"

contrairement aux

"*dollar-coins et euro-coins, garantis par une réserve-or de l'entité émettrice*"

ainsi que

"les monnaies qui ont pour garantie le PIB flottant de l'état émetteur"

LEON

Compter c'est déterminer

"la cardinalité"

d'un ensemble

On ne peut effectuer qu'un nombre restreint d'opérations mentales sur de tels ensembles, ce qui prouve que

"compter"

est un cas particulier de

"calculer"

qui regroupe un ensemble d'opérations beaucoup plus vaste

Si on fait

"un recensement"

c'est un problème de

"comptage"

du nombre d'habitants

Un habitant est simplement

"un individu"

il n'est pas

"une unité convertible"

La population est simplement

"comptée"

et les opérations possibles sur ce

"décompte"

sont très limitées.

JEAN

Je comprends l'intérêt des quantités pour représenter

"une richesse amassée"

mais je ne vois pas très bien l'intérêt des quantités pour comprendre

"les flots de richesse"

qui modifient précisément les richesses

LEON

C'est ici qu'intervient

"le temps"

Une manière de définir

"les flots de richesse"

est de considérer

"la vitesse de circulation de la richesse"

entre l'extérieur et l'intérieur d'une entité

c'est-à-dire de considérer

"la quantité de richesse qui passe la frontière de l'entité par quantité de temps"

JEAN

Si je comprends bien, dans toute

"science quantitative"

quelques

"propriétés fondamentales de la réalité"

doivent être choisies arbitrairement

Ce qui intéresse avant tout le financier, c'est

"l'argent"

LEON

On peut donc considérer cette quantité comme

"primaire"

En mécanique les quantités primaires choisies arbitrairement sont

"la masse, l'univers et le temps"

La thermodynamique a ajouté à ces trois quantités primaires

"la température"

"le potentiel électrique"

et

"le potentiel chimique"

Pour chacune de ces propriétés fondamentales

"une unité"

a également été choisie arbitrairement par les scientifiques pour permettre de raisonner en termes de

"quantités"

ainsi que

s'échanger des informations

Ces quantités peuvent être

"modulées, conjonctées, conjectées, composées, associées et distribuées"

Par exemple, le déplacement d'un objet mobile est mesurée par

"une longueur"

dans

"*l'univers*"

opposée à

"*une durée*"

dans

"*le temps*"

La vitesse est une quantité en elle-même mais ce n'est pas une quantité primaire

C'est une quantité dérivée, une quantité composite, qui dépend des quantités primaires que sont la longueur et la durée, identifiées dans l'univers et le temps

JEAN

Si j'ai bien compris si je considère

"*R*"

la richesse

et

"*t*"

le temps

comme deux quantités primaires indépendantes pratiques pour moi

la variation de richesse est mesuré par

"*une quantité R opposée à une quantité t*"

$R \div t$

que je peux aussi écrire

$R \times t^{-1}$

Cette quantité n'est pas une richesse mais un flot de richesse

La quantité

"*flot*"

est donc foncièrement dépendante des quantités primaires R et t

C'est

"une quantité dérivée"

Indices

LEON

Un cas particulier de quantité dérivée apparait quand

"une quantité ayant une certaine unité"

est opposée à

"une autre quantité ayant la même unité"

Le résultat est

"une qualité"

qui n'est lié à aucune unité et qui permet simplement de

"qualifier"

les entités et non pas de les

"quantifier"

ou encore de les

"convertir"

les unes dans les autres

Par exemple

la richesse R_A d'un financier américain peut être de

100 \$

et

celle R_E d'un financier européen de

100 €

Tous deux possèdent une richesse R qui est

"une quantité"

La proportion entre ces deux richesses peut être calculée si un taux de change "C" est fixé.

$$100 \$ = C \times 100 €$$

$$100 \$ = 1.20 \times 100 €$$

$$100 \$ = 120 €$$

Les nombres ont changé mais cela n'a aucune influence sur la richesse elle-même

Les deux richesses sont

"comparables"

La proportion C, le taux de change, est un nombre pur car la nature de l'unités du numérateur est la même que celle du dénominateur: de la monnaie.

JEAN

Dans la pratique financière, je suis souvent confronté à

"des moyennes"

LEON

Pour comprendre

"la richesse"

nous avons considéré trois quantités fondamentales que nous avons réunies dans ce qu'on peut appeler

"un référentiel naturel"

Nous avons considéré trois quantités comme fondamentales, la richesse R, l'univers financier U et le temps t, ce qui donne la représentation synthétique suivante

$\{R, U, t\}$

La vitesse

"v"

de circulation de la richesse dans l'univers financier peut être définie de deux manières

La vitesse de circulation de la richesse

Le rendement

Considérons comme second exemple le rendement

Cette quantité représente

"une quantité de richesse qui doit être rendue par an"

pour

"chaque quantité de richesse existante"

donc

"la quantité de richesse qui doit être rendue par an"

est une quantité dont la nature est

$$R \div t$$

qu'on peut écrire

$$R \times t^{-1}$$

C'est un flot de richesse.

En revanche,

"la richesse existante"

est un stock R de richesse

Donc

$$r = R \div t \div R$$

$$r = R \times t^{-1} \div R$$

$$R \times t^{-1} \div R \sim \text{"un certain nombre pur à déterminer"} \div t$$

Les grandeurs "*vitesse*" et "*rendement*" ne sont pas de même nature et les financiers savent qu'il n'y a aucun sens à additionner une vitesse à un rendement.

De notre exigence que des quantités doivent pouvoir être

"conjointes, conjectées, composées, associées et distribuées"

résulte que v et r sont des idées qui n'appartiennent pas au même univers, ne peuvent pas être manipulés ensemble.

La comparaison entre la vitesse et le taux d'intérêt montre néanmoins que ce sont des concepts très proches et qu'on peut les assimiler du point de vue financier.

Bien que les concepts de nombre, décompte et qualité soit définis de manière différente, on se rend compte que les financiers peuvent les combiner pour produire une idée.

ANNE

La pensée peut raisonner qualitativement

"la longueur"

une qualité représentant un aspect de la réalité

peut être imposée à une autre longueur

une autre qualité représentant un autre aspect de la réalité

pour donner

"une surface"

qu'on peut considérer comme encore un autre aspect de la réalité

Sans passer par les quantités, la pensée peut toujours raisonner qualitativement, uniquement en termes de qualités.

Notation

Au lieu d'utiliser les mots

"multiplication" et *"division"*

que nous réservons aux

"nombres purs"

nous avons utilisé les mots

"imposition" et *"opposition"*

quand il s'agissait de qualités

l'ensemble de ces deux opérations étant regroupées dans l'idée de

"composition"

Pour éviter le verbiage, nous avons introduit une notation compacte pour

"la comparaisons"

sous la forme du signe

"="

On a vu qu'on peut aussi mettre en haut à droite de la qualité

le nombre de fois qu'une qualité est imposée,

signe "+"

ou opposée,

signe "-"

à elle-même

Si on considère que "q" est une qualité quelconque

imposer une fois revient à mettre un +1 en haut;

$$q = q^{+1}$$

imposer deux fois revient à mettre un +2 en haut;

$$q = q^{+2}$$

opposer une fois revient à mettre un -1 en haut.

$$q = q^{-1}$$

opposer deux fois revient à mettre -2 en haut.

$$q = q^{-2}$$

La racine carrée " \sqrt{n} " peut se noter par un 0.5 en haut, c'est-à-dire

$$q^{0.5}$$

La composition des qualités suit les quelques règles très simples suivantes:

$$q = q^{+1}$$

$$q \times q = q^{+2}$$

$$q \times q \times q = q^{+3}$$

$$q \times \dots \times q = q^{+n}$$

$$q^{+0.5} \times q^{+0.5} = q^{+1}$$

$$q^{+1/2} \times q^{+1/2} = q^{+1}$$

$$q^{+1/3} = q^{+0.333}$$

$$q^{+1/4} = q^{+0.25}$$

$$1 \div q^{+1} = q^{-1}$$

$$1 \div q^{+2} = q^{-2}$$

$$1 \div q^{+3} = q^{-3}$$

$$1 \div q^{+n} = q^{-n}$$

$$q^{+n} \times q^{+m} = q^{+n+m}$$

$$q^{+n} \div q^{+m} = q^{+n-m}$$

$$(q^{+n})^{+m} = q^{+n \times m}$$

$$(q^{-n})^{+m} = q^{+m \div n}$$

$$q^{+n} \div q^{+n} = q^{+n-n} = q^0 = 1$$

Ce dernier cas est le seul cas particulier dans lequel les qualités se simplifient directement, ce que nous notons par le nombre "1".

JEAN

Les 3 qualités de base de
 "*masse, longueur et temps*"
 permettent de représenter
 "*bon nombre*"
 de réalités physiques
 mais elles ne me semblent pas suffisantes pour représenter
 "*toute*"
 la nature physique.
 Si
 "la réalité chaleur"

peut être représentée par la composition masse, distance, température, je ne vois pas comment
 on peut représenter la température en termes de masse.

LEON

Les scientifiques considèrent généralement
 la température T
 comme une quatrième qualité de la matière, indépendante de trois autres, la masse, la distance
 et le temps donc.

Souvent, les ingénieurs considèrent même la force comme une qualité primaire et la masse
 comme une qualité dérivée de l'interaction de la force, de la distance et du temps.

La masse devient pour eux une qualité dérivée

$$F L^{-1} t^2.$$

Ils peuvent ainsi trouver toutes les qualités pertinentes mécanique selon un système

$$F L t$$

La pression devient

$$F \times L^{-2}$$

et l'énergie devient

F x L

JEAN

Et l'électro-magnétisme?

LEON

Aucune des qualités dont nous avons parlé jusqu'à présent ne permet de représenter les propriétés naturelles de charge électrique ou de courant électrique.

Ainsi les scientifiques donnent souvent le statut de qualité primaire au

"courant électrique"

On peut alternativement considérer

"la charge"

comme qualité primaire auquel cas

"le courant"

devient une qualité dérivée

JEAN

Je ne vois pas le rapport de tout ça avec

"indicateurs"

qu'on trouve partout en finance

Les qualités pures

LEON

Quand je note une idée par

"1"

cela signifie que

"elle n'a pas de qualité particulière"

C'est un nombre pur, un indice.

Ce cas se produit quand

"une qualité"

est opposée à

"une qualité identique"

ou quand

"une qualité composite"

est opposée à

"la même qualité composite"

Le résultat est un nombre pur, sans qualité.

Une pente

résultant de la division d'une hauteur par une longueur

ayant toutes deux la même qualité donc

en est un cas typique.

$$L \div L = L^{+1} \times L^{-1}$$

$$L^{+1} \times L^{-1} = 1$$

Les nombres sans qualités sont souvent dénommés par les scientifiques

"nombres sans dimensions"

Une pente de

"0.25"

reste toujours une pente

que les distances soient mesurées en mètres ou en kilomètres

ou chaînes d'arpenteur

ou toute autre unité de longueur.

Les angles, par exemple, sont mesurés en

"radians"

Un "radian" est une proportion de deux longueurs
celle d'un arc de cercle divisée par celle du rayon du dit cercle

$$\text{angle} = \text{"tour du cercle"} \div \text{"diamètre du cercle"}$$

Le tour du cercle rapporté au diamètre vaut

"3.14"

c'est-à-dire qu'il faut 3.14 fois la longueur du diamètre pour faire le tour du cercle.

Le nombre 3.14 est tellement utilisé que les scientifiques lui ont donné le nom de Pi, sachant que c'est un nombre sans qualité particulière.

Il en va de même de l'idée de

"déformation"

qui est un rapport de deux longueurs, celle au repos et celle déformée.

Toutes les proportions, indices, pourcentages sont sans qualité autre que celle d'être des nombres

La proportion boisée d'un pays est définie comme la surface boisée divisée par la surface totale

$$L^{-2} \div L^{-2}$$

=

1

Ce nombre n'a pas de qualité particulière.

De même, les probabilités sont des nombres sans qualité.

Un bon exemple d'indice

"le nombre de Reynolds"

un nombre pur tellement utilisé par les ingénieurs qu'ils le notent "Re"

Ce nombre est défini comme

$$Re = \frac{\text{densité d'un fluide} * \text{vitesse du fluide} * \text{longueur caractéristique}}{\text{viscosité dynamique}}$$

$$Re = \frac{M L^{-3} * L t^{-1} * L}{M L L^{-1} t^{-1}}$$

$$Re = \frac{M L^{-1} t^{-1}}{M L^{-1} t^{-1}}$$

La densité est une qualité du fluide

La résistance d'un fluide à se déformer ou à couler quand il est soumis à une force est appelée "viscosité"

La viscosité dynamique, parfois appelée viscosité absolue, est obtenue en opposant au stress tangent à la déformation tangente.

La viscosité cinématique est densité opposée à la viscosité dynamique.

La viscosité cinématique incorpore la qualité de densité dans sa définition, donc la viscosité dynamique mesure une qualité de force alors que la viscosité cinématique mesure une qualité de vitesse.

La viscosité est une qualité du fluide, la pression nécessaire pour surpasser les frottements internes du fluide afin qu'il se mette en mouvement, c'est-à-dire qu'il prenne une vitesse.

La viscosité cinématique est une mesure de vitesse alors que la viscosité dynamique est une mesure de force.

Si on oppose à la viscosité cinématique la densité du fluide, on obtient la viscosité dynamique.

La longueur caractéristique et la viscosité dynamique sont des caractéristiques de l'objet.

$$\left(\frac{\text{densité}}{\text{viscosité}} \right) (\text{vitesse} * \text{longueur caractéristique})$$

Ce rapport, cet indicateur donne une idée d'un rapport de force:

$$Re = \frac{\text{forces d'inertie agissant sur le fluide}}{\text{forces de frottement visqueux agissant sur le fluide}}$$

L'intérêt du nombre de Reynolds est qu'il quantifie le changement entre un flot laminaire et un flot turbulent.

Pour l'eau, la transition entre laminaire et turbulent se fait pour une valeur de l'indicateur située autour de 3'000, la zone entre 2'000 et 4'000 étant en général incertaine, le fluide étant instable entre les deux régimes de laminaire ou turbulent.

Pour les faibles nombres de Re, l'inertie joue très peu dans la détermination des caractéristiques du flot.

Pour des nombres de Re élevés, les turbulences et les mélanges provoquent des pertes qui affectent les machines travaillant avec des fluides.

Le dernier type d'indicateur sans unités est produit en comptant un nombre d'objets, de personnes ou d'événements.

Le nombre de rivières dans un bassin drainant, le nombre d'ouragans, le nombre d'arbres dans une forêt ou le nombre d'individus dans une population sont généralement considérés sans unités.

On attribue par exemple au nombre d'habitants par surface l'unité de L^{-2} .

JEAN

Je ne vois pas le rapport de tout ça avec la finance.

ANNE

Pour décrire la réalité financière, on parle souvent de

"crises"

On peut donc concevoir l'idée de

"nombre C de crises pétrolières"

par unité de temps

t^{-1}

c'est-à-dire

$C \times t^{-1}$

Ce sont souvent aussi des entités humaines, individus et groupes, que l'on considère.

Contrairement aux sciences physiques, les sciences économiques et sociales n'ont pas développé un ensemble d'unités cohérentes et adoptées universellement.

On peut malgré tout constituer un ensemble de quantités qu'on estime fondamentales.

L'une des qualités fondamentales en finance est

"la valeur "

Cette propriété peut être mesurée de manière

non-monétaire par

"une échelle de préférence"

ou monétaire

en utilisant des unités monétaires

"Dollars, Euros, Francs, etc"

Ce dernier cas marque de manière quantitative

"la valeur monétaire accordée à une réalité"

à un objet, une personne, une entreprise, etc.

En première approximation on peut considérer

"la valeur monétaire"

comme fondamentale et lui attribuer une qualité V

Ayant fait cela, il devient possible d'identifier des valeurs comme

- la valeur d'un terrain

$D^2 \times V$

- le coût de transport d'une matière sur une certaine distance

$M^{-1} \times L^1 \times V$

Une autre qualité fondamentale en sciences humaines est

"la taille d'une population"

En parlant strictement, elle est mesurée en comptant le nombre de personnes et peut, comme toute propriété comptée, être considérée comme un nombre sans unité.

Cependant il y a de bonnes raisons pour définir

"la population"

comme une quantité fondamentale en finances

La première constatation à faire est que l'idée de

"1'000 personnes"

est très différente de l'idée de

"1'000 sans qualité"

La première est une quantité, un nombre multiplié par une unité, la seconde n'est qu'un nombre.

Le même argument pourrait évidemment être appliqué au décompte de tout entité mais la différence est que de nombreuses quantités dérivées peuvent être obtenues de la taille de la population comme:

"la densité de population"

"la production par individu"

"le revenu par individu"

"la fréquence par individu"

Traiter la population comme une quantité ayant une unité ouvre la possibilité de concevoir de nombreuses quantités dérivées

Mais la meilleure justification est probablement le fait que ça fonctionne, qu'il est possible de construire des idées et d'extraire plus d'information si on traite la population comme une quantité que si on la traite simplement comme un nombre

Pour traiter le monde de la finance de manière rationnelle, il faut avoir en tout cas deux unités de base indépendantes que sont l'unité de valeur V et le décompte C.

La propriété information "I" pourrait aussi être incluse comme dimension de base indépendante dans un système financier.

Migrations

LEON

Prenons les migrations par exemple.

Si on considère que F est la fréquence des canaux de migration

c'est-à-dire le nombre de canaux par unité de surface

et

D la densité de répartition des migrants

Les deux sont liées

Commençons par dire

$$F = D$$

La fréquence de canaux est le nombre de canaux N, sans unité, opposé à la surface du territoire, elle-même le carré d'une longueur, à savoir

$$L^{-2}$$

La densité de répartition R est une longueur L, la longueur totale des canaux, divisée par une surface $L \div L^2$

c'est-à-dire

$$L^{-1}$$

Ce qui donne la relation suivante entre F et D

$$L^{-2} = L^{-1}$$

qui n'est pas correcte puisque les quantités comparées n'ont pas la même unité des deux côtés du signe "="

Si on essaye

$$F = D^{1/2} = D^{0.5}$$

c'est-à-dire en terme d'unités de base

$$L^{-2} = L^{-1 \times 0.5} = L^{-0.5}$$

on constate que le modèle n'a également aucun sens puisque les unités ne se compensent de nouveau pas des deux côtés du signe "="

$$F = D^3$$

$$L^{-2} = L^{-1 \times 3} = L^{-3}$$

ne vaut pas mieux.

Toutes les équations essayées jusqu'à présent sont scientifiquement absurdes puisqu'elles comparent des quantités qui ne sont pas comparables.

On pourrait continuer ainsi à chercher une équation qui convienne et les rejeter dès qu'elles ne satisfont pas l'homogénéité des unités.

Finalement, essayons

$$F = D^2$$

$$L^{-2} = L^{-1} * 2 = L^{-2}$$

C'est ce que nous voulons, une équation équilibrée, une quantité d'une certaine nature comparée à une quantité de même nature de l'autre côté du signe égal

Cette équation est scientifiquement significative puisqu'elle satisfait le principe de l'homogénéité des qualités

Elle est possible mais incomplète

En fait on n'a pas une égalité mais simplement une proportionnalité

Si on note " \sim " l'idée de "*proportionnalité*" à la place de l'idée de "*égalité*" notée par le signe " $=$ "

on a

$$L^{-2} \sim L^{-2}$$

c'est-à-dire

$$F \sim D^2$$

En d'autres mots, la fréquence des canaux de migration est proportionnelle à la densité de répartition au carré

Pour rendre les deux côtés de l'équation égaux, il nous faut introduire quelque-chose à droite du signe "=", une constante C par exemple

Cette constante sert à multiplier l'unité D^2 , à l'ajuster vers le haut ou vers le bas pour qu'elle soit égale au nombre de gauche

La constante de proportionnalité est un nombre pur, une constante pure

Sa présence n'a donc aucune influence sur le bilan des qualités et on peut maintenant mettre un signe "="

$$F = C \times D^2$$

Le résultat du raisonnement qui n'a été que qualitatif jusqu'à présent

c'est-à-dire concentré uniquement sur les qualités

fait qu'on a une meilleure compréhension des migrations sans n'avoir fait aucune mesure sur le terrain ou analyse de données concrètes

Ces dernières sont néanmoins indispensables pour déterminer la valeur de C.

La science qualitative ne peut jamais révéler la valeur réelle d'une constante dans une équation.

Elle peut néanmoins mettre en évidence la relation la plus probable entre des qualités et cette connaissance est d'une grande utilité avant d'entreprendre une étude de terrain

A la vue de l'équation de migration, on comprend qu'un doublement des canaux dans un territoire donné va quadrupler la densité de répartition et non pas simplement la doubler

Pour des bassins drainant de l'eau au lieu de populations, après étude d'une centaine de bassins réels, on a trouvé que le coefficient C vaut environ 0.7

Vérification des unités

LEON

Dire

"la distance de Genève à Paris est égale à la distance de Genève à Venise"

n'est pas vrai réellement, géographiquement, et pourtant l'équation

"la distance de Genève à Paris = la distance de Genève à Venise"

satisfait le principe d'homogénéité des quantités:

Elle devient vraie si l'une des quantités est multipliée ou divisée par une constante C de proportionnalité sans unité:

"la distance de Genève à Paris = C la distance de Genève à Venise"

On peut examiner quelques équations typiques de la finance pour identifier les unités des quantités qu'elles contiennent et vérifier qu'elles sont équilibrées de ce point de vue.

Après cela, on peut appliquer la méthode d'essai, erreur et correction déjà utilisée.

Equations financières

Equations linéaires

Une des équations les plus classiques de la finance est

"l'équation de régression"

une des bases des statistiques.

Ce modèle exprime l'idée que

- une cause X, une variable dépendante, manipulable,
- provoque un effet proportionnel Y, une variable dépendante.

$$Y = a + bX$$

Supposons qu'une analyse soit effectuée pour trouver la relation entre la température à midi, mesurée en unités de degrés D, et l'altitude, une distance mesurée en unités de distance D.

L'unités de Y est la température T ;

L'unité de X est la distance D.

La constante d'interception a qui donne la température à une altitude de 0 doit avoir comme unité T.

La constante de régression b, la pente, donne le changement de température en fonction d'une augmentation de l'altitude.

Comme elle exprime un changement de température relatif à un changement d'altitude, elle doit avoir comme unité T L⁻¹.

Ecrive en terme d'unités, cette équation est donc

$$T = T + T D^{-1} * D$$

Dans le second terme

$$T D^{-1} * L$$

la température est divisée par une altitude puis multipliée par une altitude.

L'altitude se simplifie donc et l'équation devient

$$T = T + T$$

Une température ajoutée à une température: l'homogénéité des quantités est satisfaite dans cette équation.

Equations exponentielles

Un type d'équation commun en finance est la fonction exponentielle

$$R = R_0 e^{b \cdot t}$$

qui décrit la croissance exponentielle, d'une richesse R par exemple.

Ici, R_0 est la richesse à l'instant t_0 et R est la richesse à l'instant t.

b est une constante qui donne l'accroissement de la richesse par unité de temps T^{-1} .

La constante e, la constante des logarithmes naturels est sans unité.

En insérant les unités des quantités dans l'équation on constate qu'elle est parfaitement équilibrée de ce point de vue:

$$R = R \cdot 1 \cdot T^{-1} \cdot T$$

Une équation un peu plus complexe peut servir à décrire des déplacements de richesse.

$$T_{ij} = A_i \cdot O_i \cdot D_j \cdot e^{-b \cdot c_{ij}}$$

où les termes et les unités sont les suivants:

T_{ij} nombre de déplacements de la zone i à la zone j par unité de durée T^{-1}

O_i nombre total de déplacements depuis la zone i par unité de durée T^{-1}

D_j surface financière dans la zone j d'unité L^{-2}

c_{ij} coût du transfert de la zone i à la zone j

b constante proportionnelle au profit par unité de richesse, d'unité $\$^{-1}$

e constante de base des logarithmes naturels 1

A_i rapport constant entre O_i et la somme des déplacements prévus de la zone i d'unité L^{-2}

La constante A est simplement un facteur d'équilibrage qui rend sûr le fait que le nombre des déplacements depuis i sont les mêmes que O_i qui est connu à l'avance et défini comme

$$A_i = \frac{1}{\sum_j D_j e^{-b \cdot c_{ij}}}$$

qui, à cause du fait que le terme $e^{-b \cdot c_{ij}}$ est sans unité, a l'unité $1/D_j$ c'est-à-dire D^{-2} .

L'unité du modèle complet est

$$T^{-1} = D^{-2} T^{-1} D^2 1 \cdot \$^{-1} \$$$

$$T^{-1} = T^{-1}$$

qui est équilibrée.

Equations logarithmiques

Les équations logarithmiques nécessitent un traitement un peu différent.

JEAN

Comment un logarithme peut-il avoir une unité?

LEON

La réponse est que les logarithmes n'ont pas d'unité: ce sont des nombres purs.

Pour écrire une régression logarithmique, une équation logarithmique, une équation de régression logarithmique, les quantités doivent être extraites des logarithmes.

Prenons

$$\log Y = \log a + b \log X$$

où $\log Y$ est l'effet, la variable dépendante, et X la cause, la variable indépendante.

Le premier terme $\log a$ est la constante d'intersection et b le coefficient de régression, la pente de la droite de régression.

Hors des logarithmes, l'équation de régression est

$$Y = aX^b$$

Les unités des quantités originales non transformées peuvent être entrées dans cette équation sans aucune difficulté.

Pour satisfaire le principe d'homogénéité des unités, la constante doit avoir les unités de aX^b .

Ceci a du sens si on se souvient que l'interprétation littérale de la constante d'intersection a est la valeur de Y quand Y^b vaut 1.

L'exposant b est sans unités.

Flots

La mesure du débit d'un courant résulte de la multiplication de la vitesse du courant par la surface du canal.

Mais ce peut être aussi la division de la vitesse par la surface.

Il suffit d'écrire l'alternative:

- l'unité du débit est une unité volume par unité de durée $D^3 * T^{-1}$

- l'unité de la vitesse est une unité de distance par unité de durée $D^1 * T^{-1}$

L'unité de surface est l'imposition de deux distances, D^2 .

Nous avons donc:

$$D^3 * T^{-1} = D^1 * T^{-1} * D^2 = D^3 * T^{-1}$$

$$D^3 * T^{-1} = D^1 * T^{-1} / D^2 = D^1 * T^{-1}$$

Il ne fait aucun doute que la première solution est correcte et la seconde ne l'est pas.

Modélisation

La science qualitative permet de faire des modèles.

Si le scientifique connaît à l'avance les quantités pertinentes pour un problème à résoudre, il n'a souvent qu'une seule manière de les relier les quantités sous forme d'un modèle composite, en composant ces dernières soit par imposition soit par opposition.

S'il peut trouver une manière de composer les quantités de manière homogène, alors cette composition lui révèle la relation avant qu'une quelconque observation ou expérimentation ne soit tentée.

Une étude empirique peut alors être conçue pour confirmer la relation conçue théoriquement et remplir les informations manquantes s'il y en a.

Méthode de base

Si un scientifique cherche à comprendre des flux de capitaux, par exemple, il peut remplacer la méthode d'essai et erreur par une méthode systématique.

Il peut considérer que les quantités pertinentes sont:

- la fréquence F des canaux d'investissement sur
- une surface de marché considérée comme la composition des déplacements possibles sur le marché actions et sur marché obligations, c'est-à-dire, en termes de distances D_A D_O .

Pour simplifier le raisonnement, on peut considérer que les actions et les obligations sont équivalentes, auquel cas la surface possible d'investissement sur le marché devient simplement une composition de deux distances, d'unité D^2 .

La densité D de flux de capitaux dépend de la distance D^{-1} .

Si le scientifique lie la fréquence F à la surface dans un modèle composite de nature inconnue, il peut essayer d'écrire

$$F = C * (D^2)^a$$

où C est une constante pure, sans unité, inconnue, incluse dans le cas où il y a une différence considérée comme une proportion entre les deux côtés de l'équation.

Si le scientifique n'a aucune idée de la relation, alors cette constante peut être n'importe quoi.

La tâche du scientifique consiste donc à trouver ce qu'est le "a" du modèle composite.

Il peut commencer par réécrire l'équation mettant à gauche les unités qui composent la fréquence F :

$$L^{-2} = 1 (L^{-1})^a$$

où C est représenté par le nombre 1 reflétant son statut sans unité.

Le scientifique sait que les unités doivent être équilibrées entre la gauche et la droite du signe égal pour que son équation ait du sens.

La quantité D à gauche a une opposition de -2.

Elle doit donc avoir la même opposition de -2 à droite.

L'opposition de D à droite est $-1 * a$.

Il s'ensuit que pour équilibrer les exposants de D le scientifique doit avoir

$$-2 = -1 * a$$

Si $-1 * a$ vaut -2

alors a vaut 2.

En fait, a ne peut être égal à autre chose que 2.

Cela prouve qu'il n'y a qu'une seule manière de composer ces quantités particulières dans une équation équilibrée.

En substituant a par 2, le scientifique obtient l'unique modèle liant la fréquence de distribution des capitaux à la densité de drainage du marché.

$$F = C D^2$$

La seule chose que le scientifique ne connaisse pas encore est la valeur numérique de la constante C.

Il doit la découvrir en examinant des données empiriques, des données réelles du marché.

Mais à part ça son analyse qualitative a dérivé un modèle complet.

On constate que la plupart des équations financières, découvertes par des expériences laborieuses, peuvent en fait être découverte par l'analyse qualitative en quelques instants.

Vagues

La vitesse des vagues près des côtes semble varier avec la profondeur de l'eau.

Quand la profondeur devient plus faible, les vagues sont retardées.

Les vagues sont aussi sujettes à l'influence de la gravité.

Un scientifique peut considérer les quantités:

v vitesse des vagues $D^1 T^{-1}$

g accélération de la gravité $D^1 T^{-2}$

h hauteur de l'eau D^1

Il a trois quantités à mettre en relation, et non plus deux comme dans le cas précédent.

Si le scientifique pense que la vitesse des vagues est fonction de la gravité et de la hauteur, il obtient le modèle composite suivant:

$$v = C g^a * h^b$$

où a et b sont les deux composants dont il doit trouver la valeur.

En terme d'unités le scientifique constate que:

$$D^1 T^{-1} = 1 (D^1 T^{-2})^a * D^b$$

Il sait que les unités de chaque côté du signe égal doivent s'équilibrer.

Il peut considérer d'abord L.

$$D^1 = D^a * D^b$$

En d'autres termes

$$1 = a + b$$

Gardant cela à l'esprit, il peut s'occuper de l'unité T.

La partie T du modèle est

$$T^{-1} = (T^{-2})^a$$

La composante à gauche doit être égal à la composante à droite:

$$-1 = -2 * a$$

Les deux équations des composantes de D et T respectivement doivent être vraies simultanément.

En utilisant l'information disponible simultanément dans les deux équations, il peut trouver les valeurs de a et b:

- la seconde lui donne $a = 1/2$, et,

- la première donne $b = 1/2$.

L'équation équilibrée donnant la vitesse des vagues en fonction de la profondeur est donc:

$$v = C * g^{1/2} * h^{1/2}$$

soit

$$v = C * (g * h)^{1/2}$$

Le modèle qualitatif dit au scientifique que la vitesse v des vagues en eau peu profonde varie avec la racine carrée de la profondeur h.

Son analyse qualitative lui a révélé que lorsque des vagues approchent une plage peu inclinée leur vitesse est réduite plus vite que la réduction de profondeur.

L'analyse qualitative ne révèle rien de la constante numérique de proportionnalité C, dont la valeur doit être trouvée par une expérience sur une plage.

Par une simple expérimentation reliant les quantités, il découvrirait que la constante C vaut en fait 1 et disparaîtrait ainsi de l'équation qui est donc:

$$v = (g * h)^{1/2}$$

Finance

Pour montrer que l'analyse qualitative peut être utilisée pour dériver des relations financières, on peut prendre l'exemple de la place centrale.

Dans un marché isotrope entre actions et obligations, où les investisseurs sont uniformément distribués et les bourses situées de manière optimale pour que les investisseurs se fatiguent le moins possible, qu'est-ce qui détermine l'énergie maximale pour investir dans une certaine action ou obligation?

La dépense d'énergie maximale dépend du niveau des transactions par unité de temps nécessaire pour subvenir à une bourse qui offre des titres, en d'autres mots d'un seuil.

Elle dépend aussi de l'investissement moyen par investisseur par unité de temps sur les titres et de la densité des investisseurs.

En notant la population des investisseurs par N , les quantités pertinentes sont:

- r , la distance maximale franchie par un investisseur, d'unité D
- s , le seuil
- y , la demande, l'investissement moyen sur les titres $\$ N^{-1} T^{-1}$
- w , la densité de des investisseurs $N D^{-2}$

La relation composite entre les quantités doit être du type

$$r = C s^a y^b w^c$$

où C est une constante pure sans unité, obtenue par observation ou expérimentation.

Si le scientifique raisonne en terme d'unités, il obtient:

$$D = 1 (\$ T^{-1})^a (\$ N^{-1} T^{-1})^b (N L^{-2})^c$$

$$\text{Homogénéité pour } L: 1 = -2c$$

$$\text{Homogénéité pour } \$: 0 = a + b$$

$$\text{Homogénéité pour } T: 0 = -a - b$$

$$\text{Homogénéité pour } N: 0 = -b + c$$

d'où

$$a = 1/2$$

$$b = -1/2$$

$$c = -1/2$$

et le modèle est

$$r = C (s/yw)^{1/2}$$

La distance maximale pour obtenir un titre répond moins que proportionnellement à la demande ou à la densité d'investisseurs.

Doubler l'investissement ou doubler la densité d'investisseurs apporterait plus de bourses dans la région mais pas de la moitié.

La constante C varie en fonction la superposition entre les zones d'attraction des bourses.

Dans un système parfait où les zones sont des hexagones indépendants, le terme $s/yw^{1/2}$ donnerait la surface de chaque hexagone.

En effet, en terme d'unités:

$$\$/ T^{-1} / \$ N^{-1} T^{-1} N D^{-2}$$

Les unités \$, T et N s'éliminent de cette équation et il ne reste que du D^2 , c'est-à-dire une surface financière.

Dans un marché hexagonal, c'est la distance depuis le centre de l'exagone jusqu'à un de ses angles.

Ainsi la constante C devient la proportions de cette distance à la racine carrée de la surface.

Ce ratio est de 0.62 pour un hexagone.

Des valeurs supérieures à 0.62 donnerait des variations par rapport à cet idéal.

Unités vectorielles

LEON

Les quantités de base ne sont pas sacrosaintes ni nécessairement les quantités les plus fondamentales.

Bien d'autres quantités peuvent en être dérivées.

Dans certains cas il est utile de considérer que ces quantités résultent de compositions, que ce sont des quantités composées, des composites.

Le concept de masse, par exemple, peut être utilisé de deux manières en physique:

- soit pour représenter une quantité de matière,
- soit pour représenter une quantité d'inertie.

Les égalités qui contiennent les deux significations doivent être équilibrées chacune indépendamment.

Deux quantités distinctes, la quantité de matière M_M et la quantité d'inertie M_I peuvent alors être définies pour remplacer celle de masse.

En utilisant ces nouvelles quantités, la densité d'un objet autrefois d'unité composite $M D^{-3}$ devient $M_M D^{-3}$.

De même la force qui utilise le concept d'inertie est maintenant d'unité $M_I D T^{-2}$.

Cette division de la masse en deux unités indépendantes est utile pour clarifier certaines relations. Néanmoins la distinction entre quantité de matière et quantité d'inertie est rarement et même pratiquement jamais critique dans modèle.

Une autre suggestion est que la distance peut être conçue comme une grandeur composite de grandeurs plus fondamentales.

Comme la distance est une quantité fondamentale dans bien des raisonnements, la désagrégation de la distance en d'autres grandeurs est possible et peut être utile.

La distance est une quantité qui peut être remplacée par trois quantités vectorielles distinctes dotées à la fois d'une magnitude et d'une direction.

Toute distance peut être exprimée comme une combinaison d'unités dans trois directions perpendiculaires.

Toutes les distances mesurées dans la direction verticale peuvent avoir l'unité L_z .

La conséquence en est que si l'unité L_z apparaît d'un côté d'une équation, elle doit aussi apparaître de l'autre côté.

De même pour les autres unités.

Toutes les distances mesurées dans la direction z peuvent être spécifiées comme ayant l'unité

$$D_z.$$

Les deux directions dans le plan horizontal sont D_x et D_y .

Toute distance verticale ne peut être égale qu'à une autre distance verticale, pas à une distance mesurée dans une autre direction.

La conséquence en est que si D_z apparaît d'un côté d'une équation, elle doit apparaître aussi de l'autre côté.

De même les deux autres doivent être équilibrées pour que l'équation soit homogène.

Parfois cela peut donner au scientifique de l'information supplémentaire.

S'il considère la terre, par exemple, une surface sur terre n'a plus comme unité D^2 mais $D_x D_y$.

L'altitude a pour unité D_z .

Un cube implique les trois unités.

La densité du cube devient $M D_x^{-1} D_y^{-1} D_z^{-1}$

L'accélération de la gravité impliquant seulement la verticale est

$$D_z T^{-2}$$

Quand un objet tombe, il est clair que D_z est la composante de distance de la vitesse et que la viscosité du fluide dans lequel il tombe agit en opposition de l'objet tombant donc en opposition à l'accélération due à la gravité.

Les densités de l'objet et du liquide sont simplement leur masse divisée par les trois unités.

$$M D_x^{-1} D_y^{-1} D_z^{-1}$$

La seule difficulté provient du diamètre du bloc ou du grain: dans laquelle des trois directions cette quantité est-elle significative?

Certainement pas dans la direction verticale car l'élongation verticale du grain ne va pas affecter la vitesse à laquelle il tombe.

Ce qui importe, c'est la section horizontale perpendiculaire à la direction du mouvement.

Comme L_x et L_y sont tous deux applicables également au diamètre, si c'est un grain, et comme le diamètre doit avoir une dimension de longueur et non de longueur au carré, alors les deux vecteurs horizontaux doivent pouvoir contribuer chacun pour moitié, donnant

$$D_x^{1/2} D_y^{1/2}$$

L'analyse composite devient:

$$D_z T^{-1} = 1 (D_x^{1/2} D_y^{1/2})^a (M D_z^{-1} T^{-1})^b (M D_x^{-1} D_y^{-1} D_z^{-1})^c (D_z T^{-2})^d$$

En équilibrant les deux côtés:

$$D_x \quad 0 = 1/2a - c$$

$$D_y \quad 0 = 1/2a - c$$

$$D_z \quad 1 = -b - c + d$$

$$T \quad -1 = -b - 2d$$

$$M \quad 0 = b + c$$

Les 5 équations simultanées en sont en réalité 4 car deux d'entre elles sont identiques.

Néanmoins avec 4 équations et 4 inconnues il vient

$$a = 2, b = -1, c = 1, d = 1$$

Ainsi

$$w = C \frac{r^2 \rho g}{\mu}$$

Le modèle est maintenant explicite.

C'est la loi de Stokes.

Les compositions sans unités

Toutes les équations homogènes peuvent être réarrangées de telle sorte que les deux côtés de l'équation soient sans dimensions.

$$F = C D^2$$

peut être mise sous la forme

$$F / D^2 = C$$

qui est sans unité des deux côtés sans perte d'information.

Le terme de gauche est une composition sans unités puisque c'est une composition dont les unités se simplifient, laissant l'indicateur sans unité.

$$D^{-2} / (D^{-1})^2$$

Les deux quantités F et D dérivées d'une quantité primaire D ont été composées pour faire une ucomposite sans dimension.

Baromètre

Un autre exemple est la relation entre:

- la pression atmosphérique p,
- la hauteur h d'une colonne de mercure dans un baromètre,
- la densité du mercure r, et, l'accélération due à la gravité:

$$p = C r h$$

qui est identique à

$$p/g r h = C$$

Les 4 quantités p, g, r et h dérivées des trois quantités fondamentale M, D et T composées pour faire une composite, un indicateur sans unité.

$$p/g r h$$

Le théorème Pi

Quand quatre quantités sont interdépendantes, il n'est pas facile de débrouiller, démêler, ce qui se passe.

L'avantage du théorème Pi est qu'il permet de simplifier les relations en réduisant le nombre de quantités à un nombre gérable.

Une relation entre deux quantités peut être exprimée dans un simple graphe à deux axes.

Une relation entre trois quantités nécessite 3 axes.

A partir de 4 quantités agissant simultanément, on est au-delà de ce qu'est capable l'imagination normale.

Ce qu'offre le théorème Pi, c'est la possibilité de réduire le nombre n de quantités en un nombre plus petit, en une nombre n - k de nombres sans unités, où k est le nombre d'unités indépendantes primaires impliquées.

Ainsi on peut réduire un modèle à 4 quantités à modèle à 2 quantités, qui peut être visualisé dans un graphe, sur une feuille.

On peut rendre le modèle encore plus explicite en mettant toutes les quantités à gauche du signe égal de telle sorte que rien ne reste à droite.

$$\text{Modèle } (D, Q, k_e, H) = 0$$

Le théorème Pi dit que ce modèle peut être exprimé comme modèle entre seulement 2 nombres, Nombre₁ et Nombre₂, qui sont des composites des quantités originales, des indicateurs.

$$\text{Modèle } (\text{Indicateur}_1, \text{Indicateur}_2) = 0$$

Prototype

L'ordre de grandeur de l'effet sur une grandeur Y d'une cause négligeable peut être idéalisé par un indicateur, un indice, par des nombres purs.

Par exemple, une réalité d'inertie I est mue par une force rétablissant l'équilibre

$$A K = - K x$$

où

- x est l'écart par rapport à la norme, à un équilibre, et,

- K est une constante énergétique.

Quel est l'effet d'une force visqueuse sur la période d'oscillation de la réalité:

$$AP = - P dx/dt,$$

où P est une constante de perte d'énergie, de perte due aux écarts.

Parler de grandes ou petites valeurs de P n'a pas de sens.

Une perte de 10^{-3} kg/s a aussi une valeur de $6.024 \cdot 10^{E23}$ amu/s.

L'effet est exprimé par la proportion

$$PP = P / (I/K)^{1/2}$$

le rapport entre la valeur maximale de la force de perte et la valeur maximale de la force de rappel.

Evénement

L'idée d'événement contient l'intuition qu'une réalité inconnue dépend d'un certain nombre N d'autres réalités.

réalité = dépend de (réalité-1, .. , réalité-N)

Les réalités constituant un événement sont imaginées dans un référentiel universel, le référentiel spatial de la mécanique par exemple.

La pensée peut concevoir un événement comme constitué d'un ensemble complet d'indices idéaux constitués d'éjection d'idées.

Elle peut mettre un nombre n d'idées dans un tableau.

Si le nombre de réalités indépendantes est r, les $m = n - r$ réalités restantes peuvent être exprimées comme une conjonction modulée de ces r réalités indépendantes.

En d'autres mots, la pensée peut former un ensemble complet de m conjonctions modulées indépendantes entre les n réalités.

Idéalisation

La pensée ne cesse de chercher à comprendre la réalité.

Elle peut identifier certaines entités dans la réalité qu'elle veut comprendre.

Elle peut identifier des propriétés de ces entités.

Elle peut identifier des unités dans les propriétés des entités.

Elle peut enfin quantifier les unités par une multiplication, au moins en théorie si ce n'est en pratique, pour obtenir des quantités, qui sont le produit d'une magnitude par une unité.

Les principes d'idéalisation

La science dimensionnelle est fondée sur trois principes applicables aux réalités.

Principe d'homogénéité

Dans toute égalité, tous les termes doivent avoir la même variété.

Principe de continuité

De petites causes produisent de petits effets.

Principe de symétrie

Quand certaines causes produisent certains effets, tout élément de symétrie dans les causes doit être présent dans les effets.

Les nombres

Les nombres ont donc une complexité nulle, une complexité de zéro.

La pensée est capable de faire deux opérations fondamentales avec des nombres: l'addition et la multiplication, la soustraction et la division n'étant que des additions et des multiplications déguisées.

La pensée est fermée sur elle-même en ce qui concerne ces 4 opérations:

quelle que soit l'opération qu'elle effectue entre deux nombres, elle obtient toujours un nombre.

Elle est

"compacte"

en ce qui concerne les nombres, donc.

Cette compacité est assurée par deux nombres "neutres":

- le "0" pour l'addition, et,
- le "1" pour la multiplication

Les idées

La pensée peut former des référentiel originels en réunissant des unités indépendantes.

Si par malchance les unités du référentiel originel ne sont pas indépendantes, la pensée peut toujours le convertir en un référentiel originel indépendant, en prenant l'une des unités comme référence et en rendant séquentiellement les autres unités indépendantes les unes des autres.

Après avoir associé les unités aux nombres, par le nombre "1", la pensée peut composer, c'est-à-dire imposer et opposer, ainsi que moduler les idées à volonté pour former de nouvelles idées.

Pour qu'un tel système fonctionne, il doit comprendre exactement six éléments:

- un nom de la qualité comme

"toto"

ou

"x"

- un nom d'unité comme

"titi"

ou

"y"

Le nom peut être n'importe quoi, bien qu'il soit raisonnable de choisir:

- des symboles qui évoquent facilement des notions culturelles connues, ou
- des noms proches de la réalité à comprendre.

Pour des quantités similaires, il est possible d'utiliser des indices, "i" par exemple pour les distinguer:

Unité_i

Quantité_i

- le nombre unité

"1"

accroché au nom de l'unité permet de faire une multiplication de la magnitude par l'unité.

- un signe égal comme ci-dessous:

"="

par exemple.

Les phrases

"est égal à",

"est comparable à"

"est équivalent à",

"est identique à",

"est similaire à",

représentent ce signe égal en langue naturelle.

- un nombre "M", qui permet d'attribuer une magnitude à une quantité.

- une multiplication,

souvent représentée par un espace blanc, " ", une croix "x" ou une étoile "*"

Le temps

Le temps est une qualité tellement particulière de la réalité que la pensée lui attribue un statut à part.

Elle distingue deux idées principales dans le temps:

"les instants, les dates"

et

"les durées"

qui s'étendent quant à elles entre deux instants ou deux dates.

Les conventions

Consciente que les unités doivent être utiles, en particulier à la vie en société, la pensée s'arrange tant que faire se peut pour que les unités soient

- fixées d'un commun accord avec les pensées des autres êtres avec lesquels elle communique, conventionnellement donc, et, autant que possible,
- ne soient liées ni au lieu ni à l'instant de l'utilisation.

La valeur

La comparaison d'une idée présente dans une pensée à la même idée présente dans une autre pensée, le passage d'un système d'unité à un autre système implique changement de valeur numérique du rapport des idées.

Le rapport d'évaluation doit être le même dans les deux systèmes d'unités pour que la communication des idées entre pensées différentes soit cohérente.

La valeur interne d'une idée ne dépend pas de l'unité d'évaluation choisie par la pensée.

En revanche sa valeur externe dépend étroitement de l'unité d'évaluation. C'est ce choix qui permet de maintenir une idée invariante.

La manipulation des idées

La pensée manipule les idées de quantité selon quelques principes de base:

Principe de modulation

La pensée peut moduler des quantités, par multiplication ou division.

Principe de conjonction

La pensée peut conjoindre des quantités, par adjonction ou disjonction.

Principe de composition

La pensée peut composer des quantités, par imposition ou opposition.

Principe de proportion

La pensée peut mettre en rapport une quantité partielle à une quantité totale.

Les égalités réelles

La pensée cherche des égalités à partir de ses observations.

Elle compense un ensemble de quantités par un autre ensemble au moyen du signe égal.

En d'autres mots, une égalité valide est essentiellement homogène, c'est-à-dire que tous ses termes ont les mêmes unités.

Sinon une égalité n'a pas de sens du point de vue de la réalité.

Les égalités non homogènes ne contiennent pas d'information scientifique pour la pensée, ce ne sont pas des égalités scientifiques.

Les lois de la nature

Portity

Frontity

Transity

Energy	Fontity	Transity	Accumulation
Translation	Position	Force	Momentum
Rotation	Angle	Torque	Momentum
Electricity	Potential	Current	Charge
Magneticty	Potential	Flux rate	Flux

Fluid	Pressure	Flow	Volume
Chemistry	Potential	Mass flow	Mass
Thermy	Temperature	Flow	Heat

Histoire

ANNE

Pour comprendre

"la science naturelle"

on peut faire un peu d'histoire en passant en revue quelques scientifiques, leurs idées et leurs ouvrages, qui ont marqué

"la révolution scientifique"

1'452-1'519 Da Vinci Leonardo

1'468-1'472: Apprentissage chez Verrochio (16-20 ans)

Assimile les idées de Brunelleschi et des ingénieurs Siénois.

1'472: Pose de la sphère de cuivre de Santa Maria del Fiore (20 ans)

Fabriquée chez Verrochio où Léonard travaillait.

1'475: Chute des corps (23 ans)

Prend le contrepied d'Aristote en affirmant que ce n'est pas une main invisible et divine qui provoque le mouvement: "Rien ne peut se mouvoir par soi-même. Tout corps a un poids dans la direction du mouvement".

La matière a donc une tendance à se mouvoir dans une certaine direction à moins qu'elle ne soit arrêtée. Cette idée est celle d'inertie que Galilée et Newton développeront.

Développe une connaissance intuitive de la loi décrivant la vitesse de chute des corps.

Cette connaissance sera formulée mathématiquement en 1'642 par Evangelista Torricelli (1'608-1'647) - un élève de Galileo Galilei (1'564-1'642).

1'476: Procès (24 ans)

Procès en homosexualité qui le marquera pour le restant de ses jours.

1'482: Départ pour Milan (30 ans)

Lettre à Ludovic Sforza montrant ses compétences.

1'490: L'homme de Vitruve

Cercle et carré à la fois, mais avec le centre du cercle au nombril et le centre du carré au sexe, contrairement à Vitruve pour qui les deux centres étaient superposés (et une description littéraire, sans dessin).

1'495: Lumière

"Si on ouvre les yeux, on voit en même temps sa main et le soleil. Tout ce qui est dans le champ de vision apparaît instantanément. Il est donc impossible qu'un esprit visuel émanant de l'œil existe: ses émanations sortant de l'œil atteindraient forcément la main avant le soleil."

1'496: Rencontre avec Pacioli qui arrive à la Cour des Sforza à Milan

Amitié profonde.

1'499: Départ de Milan pour Venise avec Pacioli

Etudes hydrauliques.

Analyse l'énergie produite par les chutes d'eau tombant de 4 hauteurs différentes et formule verbalement le théorème fondamental de l'hydrodynamique.

Ce théorème qui sera formulé mathématiquement en 1'738 par Daniel Bernouilli (1'700-1'782).

1'501: Retour à Florence

Marqué par un petit passage entre 1'501 et 1'503 chez les Montefeltro pour César Borgia.

Etude de la géométrie.

*1'505: 53 ans, rencontre avec Machiavel, 36 ans.**1'506: Retour à Milan*

Ingénieur en chef du Gouverneur français Charles d'Amboise et études anatomiques.

Les quatre puissance fondamentales de la nature: mouvement, force, inertie, rigidité.

Energie potentielle et énergie cinétique.

1'507, 1'509, 1'510: Trois procès

Succession avec ses frères.

1'510: Traité d'anatomie

Muscles comme lignes de force, ligaments comme des cables et cartilages comme des amortisseurs et des lubrificateurs.

1'513: Départ pour Rome (61 ans)

Assèchement des marais pontins, travaux hydrauliques et port de Civitavecchia.

Analyse de fossiles.

1'515: Lion robot pour François 1er (63 ans)

Robot marchant, rugissant, se levant sur ses pattes arrière, sa poitrine s'ouvrant pour offrir un lys à François 1^{er}.

1'516: Départ pour Blois (63 ans)

Machines.

"Si une barre droite est tordue, il est nécessaire que sa partie convexe devienne plus fine et sa partie concave plus épaisse. Cette modification est pyramidale et par conséquent il n'y a pas de modification au milieu de la barre. Vous découvrirez, si vous considérez les modifications ci-dessus que si vous prenez une partie externe au milieu et que vous comparez à une partie interne, les lignes ont augmenté autant sur la partie externe qu'elles ont diminué sur la partie interne. Le centre est devenu comme le fléau d'une balance des deux côtés." (Codex Madrid).

1'519: Codes atlanticus

1'469-1'527 Machiavelli Nicolo

1'502: "Discorso sopra la provisione del denaro"

1'505: 36 ans, rencontre avec Léonard, 53 ans.

1'513: "Le prince"

1'520: "L'art de la guerre"

1'564-1'642 Galileo Galilei

Professeur de mathématiques à Padova en Vénétie.

Travail

"Dans un levier ou un palan, ce qui est perdu en force est gagné en déplacement, et réciproquement."

1'590: *"De motu"*

Publication des résultats de ses expériences sur la chute libre des corps à la tour de Pise.

1'600: *"Le mecaniche"*

Développe la méthode de la coupure fictive des barres et des poutres pour comprendre les forces intérieures.

1'610: *"Siderus nuncius"*

Les 4 lunes de Jupiter découvertes à Venise.

1'610: *Retour à Florence pour Cosimo de Medicis à qui il avait donné des leçons.*

Rencontre avec Salviati.

S'intéresse au feu et à la chaleur et invente en 1'606 le thermomètre, puisqu'il avait des graduations, un instrument pour observer les écarts de température entre différents endroits (mais pas des températures absolues).

1'612: *"Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua, o che in quella si muovono"*

1'623: *"Il saggiatore"*

Premier livre sur la structure profonde de la matière vers l'infiniment petit depuis *"De rerum natura"* de Lucretius (-99-55).

1'632: *"Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo"*

Cinq ans de travail. Salviati, le copernicien, Simplicio, l'aristotélien et Sagredo, le neutre curieux de comprendre.

1'638: *"Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze"*

Causalité

"Les mathématiques sont le paradis de la science."

La première science est l'étude des macro propriétés de la matière. Après avoir analysé les micro propriétés de la matière au niveau atomique dans *"Il saggiatore"*, il s'attaque aux propriétés à large échelle de la matière. Il étudie la résistance des matériaux, en particulier des

métaux. L'élasticité et la viscosité sont étudiées expérimentalement et il établit des conclusions sur les limites de la taille et des proportions des différents matériaux.

Propose des généralisations qui seront reprises par les ingénieurs de la révolution industrielle et la mécanique des milieux continus.

La seconde science concerne le mouvement des corps, la dynamique, préparant le terrain pour Newton (1'643-1'727).

Raffine le concept de "inertie": un corps en mouvement libre se déplace en ligne droite à vitesse constante.

Il distingue clairement deux notions cinématiques, la vitesse et l'accélération, deux concepts qu'il rend donc dorénavant mesurables.

Dans "*Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*" (1'638), contrairement à Kepler, qui arrive à ses conclusions en observant des objets très lointains, il rejette toute hypothèse sur la nature de la force elle-même, sur sa véritable essence, et se met à étudier le comportement des objets soumis à une force principalement constante:

"Diverses hypothèses ont été émises sur la cause de l'accélération naturelle des objets. Certains l'expliquent par une attraction vers le centre, d'autres par une répulsion entre les parties, d'autres encore à une pression dans l'environnement qui se referme derrière l'objet et le propulse d'une position à une autres. Toutes ces hypothèses doivent être considérées mais l'important est ailleurs. Ce qui compte c'est d'étudier et de démontrer certaines des propriétés du mouvement accéléré qu'elle qu'en soit la cause."

En fait, Galilée va chercher une formulation exacte de la notion intuitive de force.

Léonard de Vinci (1'452-1'519) avait très bien compris le concept d'impulsion et d'énergie cinétique qu'il appelait "*forza*":

"Je définis la force comme un agent incorporel, une puissance invisible, qui par le moyen d'une pression externe résultant du mouvement accumulé et diffusé dans les corps, les détourne de leur comportement naturel, leur imposant une vie active de puissance merveilleuse et contraignant toute chose créée à changer de forme et de position".

Au début, Galilée ne distingue pas clairement les concepts de force, d'impulsion et d'énergie et utilise indifféremment des mots comme "*forza*", "*sforzo*", "*potenza*", "*potere*", "*virtu*", "*possenza*", "*momento dell potenza*", "*lavoro*", etc. pour parler de la force.

Comme l'a décrit Piaget Jean (1'896-1'951) la formation du concept de force chez l'enfant est le conforme à celle observée dans la science: alors que l'idée de force est extraite de l'expérience interne et suivie d'une prise de conscience par l'adulte, l'enfant semble attribuer des forces aux objets de son environnement avant de trouver le "soi", le "égo", le "self", de sa propre force:

"Dans les stades précoces de l'ignorance de son propre égo le monde de l'enfant est peuplé de forces matérielles et vivantes dont le bon sens de l'adulte serait étonné. Aux stades suivants,

quand l'enfant prend graduellement conscience de son monde interne et de la spécificité de son égo, le dynamisme est remplacé par une conception plus mécanique du monde."

Quand il compare la force musculaire ("*impulsion imprimée*") à la force de gravité ("*le poids de la chose*") il constate que lorsqu'il jette un objet en l'air, la position arrêt la plus haute est un point où les forces sont en équilibre.

L'impulsion imposée par l'agent est graduellement consommée par la force opposée de la gravité.

S'il n'a pas encore une idée claire de la masse, il réduit déjà l'action d'une force à une augmentation graduelle de vitesse, à une accumulation d'incrémentes de vitesse, une idée possible seulement s'il possédait, au moins intuitivement, l'idée d'inertie.

Pour Galilée, une force est une séquence continue d'impulsions instantanées s'ajoutant, conçue comme une cause de l'accélération de l'objet et une action de l'extérieur et non une propriété interne du mobile, ce qui forme la base des première deux lois du mouvement de Newton.

Relativité

Le choix d'un point comme origine des repères dans l'espace est arbitraire. Aucun point de l'espace n'est privilégié pour servir d'origine à un système de coordonnées permettant de repérer le mouvement d'une entité.

1'643-1'727 Newton Isaac

Le concept de force de Newton est loin d'être simple.

1'669: Calcul différentiel

1'669: "De analysi per aequationes numero terminorum infinitas"

Analyse des équations par un nombre infini de termes.

1'687: "Philosophiae naturalis principia mathematica"

L'espace et le temps

Toute ces grandeurs sont liées à l'espace et au temps:

"Tout est dans l'espace quant à l'ordre de situation et tout est dans le temps quant à l'ordre de succession".

Masse

"Je désigne la quantité de matière par les mots de masse et de corps. Cette quantité se connaît par la pesée, qui mesure le poids des corps, car j'ai trouvé par des expériences sur les pendules que le poids des corps est proportionnel à leur masse."

Impulsion (vis viva)

L'idée d'impulsion est directement liée à celle de masse.

"L'impulsion est le produit de la masse par la vitesse"

Il développe la loi de conservation de l'impulsion des systèmes isolés ce qui implique l'introduction d'un facteur 1/2 devant la quantité conservée $m v^2$ introduite par Hook.

Inertie (via insita)

"L'inertie qui réside dans la matière est le pouvoir qu'elle a de résister. C'est par cette inertie que tout corps persévère de lui-même dans son état de repos ou de mouvement".

"Cette inertie est toujours proportionnelle à la quantité de matière du corps".

"Sur la surface de la terre, l'accélération de la gravité est la même sur tous les corps et le poids des corps est proportionnel à leur masse".

Galilei Galileo (1'564-1'642) postulait que l'accélération de la gravité était la même partout parceque c'était une caractéristique des corps alors que Newton Isaac, au contraire, postule que l'accélération de la gravité change avec la position car sa cause, la force centripète, dépend du lieu où elle agit.

Avec Newton, la gravité est externalisée des corps et il ne leur reste plus que l'inertie.

Confirme l'idée que le poids d'un corps est le produit d'un nombre caractéristique de ce corps (sa "masse") par une accélération et la généralise à l'univers.

Travail

Estime l'action et la réaction par le produit d'une force par la vitesse de son point d'application.

Selon cette définition, l'action de l'agent externe est le taux auquel il produit un travail.

C'est la puissance de l'agent (*"The power of the prime mover."*)

"If the action of the external agent is estimated by the product of it's force into it's velocity, and the reaction of the resistance in the same way as the product of the velocity of each part of the system into the resisting force arising from friction, cohesion, weight and acceleration, the action and reaction will be equal to each other, whatever the nature of the motion."

"Si l'action d'un actant est estimée par le produit de sa force par sa vitesse, et la réaction du réactant de la même manière par le produit de la vitesse par la force résultant des frottements, de la rigidité et de l'inertie, alors l'action est égale à la réaction, quelle que soit la nature du mouvement."

Reprend le concept d'essence dérivée de Descartes René (1'596-1'650).

Lumière

1704: "Optics"

Analyse de la lumière.

Reprend les idées sur la lumière exposées à l'Académie Royale des Sciences de Paris en 1678.

"J'appelle essence dérivée une essence qui n'est faite ni de l'addition ni de la soustraction de parties, mais qui est produite par la multiplication ou la division arithmétique d'essences."

1646-1716 Leibniz Gottfried

Introduit le concept de "vis mortua" comme le produit mv de la masse fois la vitesse et considérait la "vis viva" comme son intégrale par rapport à la vitesse soit mv^2 , en fait $1/2 mv^2$.

Il formalise la notion de "latenta vis viva" contenue dans le système, qui avait le potentiel d'être transformée en "vis viva".

La "vis" d'un système est donc la somme de sa "latenta vis viva" et de sa "vis viva", ce que plus tard on appellera la somme de son énergie potentielle et de son énergie cinétique.

Il introduit la notion de "système conservatif", dans lequel la somme de ces deux formes d'énergie, mécaniques en l'occurrence, est toujours la même.

Il clarifie Newton:

"L'action est comme le produit de la masse par l'espace et la vitesse ou comme le temps multiplié par la vis-viva".

1666: "De arte combinatorica"

1684: "Nova methodus pro maximis et minimis"

1695: "Système nouveau de la nature et de la communication des substances"

1796-1832 Carnot Sadi

Réalise que la source de puissance de la machine à vapeur est la chaleur produite par le feu du combustible, contrairement à Watt qui considérait que c'était la vapeur.

Il introduit donc la notion de machine thermique comme moyen de produire du mouvement à partir de la chaleur.

1'824: "Réflexions sur la puissance motrice du feu"

Faisant une analogie avec les chutes d'eau des moulins, Carnot suggère qu'une machine thermique peut produire plus de travail avec la même quantité de calorique (Carnot utilisait encore la notion de calorique - Lavoisier avait rebaptisé "calorique" le "phlogiston", un fluide sans masse et incolore, dont la quantité totale est conservée dans l'univers, s'écoulant des corps chauds vers les corps plus froids, la différence de température étant donc la cause du flot).

Selon la théorie du calorique, la température correspond à la quantité de ce fluide contenue dans le système. La chaleur décrit donc une quantité alors la température décrit une concentration en un point.

1'831-1'879 Maxwell James Clark

Travail:

"L'énergie est la capacité de produire un travail."

"Le travail fait par un actant peut être décrit par un changement de configuration du réactant."

"La quantité de travail est proportionnelle au produit des nombres représentant la force exercée par l'actant et le déplacement du point d'application de la force dans la direction de la force."

"Si, par l'action d'un actant externe au système, la configuration du système est changée, alors que les forces du système résistent à ce changement de configuration, l'actant est dit faire un travail sur le système. Dans ce cas, l'énergie du système est augmentée par la quantité de travail accompli sur lui par l'actant externe."

"Si au contraire, les forces du système produisent un changement de configuration auquel le système résiste, le système est dit faire un travail sur l'actant externe, et l'énergie du système est diminuée par le travail qu'il fait."

"Le travail est donc un transfert d'énergie d'un système à un autre. Si on inclut les deux systèmes dans un système plus large, l'énergie du système total n'est ni augmentée ni diminuée par l'action d'un système partiel par l'autre."

"Il est manifeste qu'aucun événement se produit plus d'une fois, de telle sorte que les causes et les effets ne peuvent être identiques à tout point de vue".

1'861: Première photographie en couleur

1'873: "A treatise on electricity and magnetism"

1'877: "Matter and motion"

1'908: "Theory of heat"

"L'effet total d'une force en communiquant une vitesse à un système est proportionnel à la force et à la durée pendant lesquelles elles agissent conjointement."

"Le produit de la durée d'action d'une force par son intensité, si elle est constante, ou son intensité moyenne, si elle est variable, est l'Impulsion de la force."

"Si une force agit sur une inertie unitaire pendant une certaine durée, l'impulsion est mesurée par la vitesse générée."

Théorie électromagnétique de la lumière.

1'877: "Matter and motion"

"When we wish to express by a single word the rate at which work is done by an agent, we shall call it the Power of the agent."

"Si on veut exprimer par un seul mot le taux auquel du travail est fait par un agent, il faut l'appeler Puissance de l'agent."

Pousse le concept d'essence en réalisant que les réalités sont quantifiées selon des essences. Des ensembles différents d'essences dites fondamentales pouvaient être groupées desquelles d'autres essences pouvaient être dérivées.

Il suggéra la notation entre crochets pour les essences, notation encore utilisée au 21^{ème} siècle.

Comme il ne précisa pas ce qu'il entendait par sa notation en crochets, une confusion naquit et existe encore aujourd'hui.

En réalité elles doivent être considérées comme une procédure à utiliser pour décrire la réalité.

Un fois que la pensée a identifié les essences fondamentales nécessaires pour décrire une réalité, elle peut développer un ensemble d'unités pour quantifier les essences choisies. Ces unités forment un système d'unités.

"L'énergie se conserve. Ce principe fournit au scientifique une idée à laquelle se rattacher pour comprendre la dynamique d'un système."

"L'énergie totale d'un système est une quantité qui ne peut être ni augmentée ni diminuée par aucune action entre les parties du système, bien qu'elle puisse être transformée dans l'une quelconque des formes qu'elle est susceptible de prendre."

"Un système est considéré comme conservatif si toutes les différentes formes d'énergie qui existent dans le système sont prises en compte."

"Le travail est un acte de transformation d'un système en opposition à une force qui résiste à une telle transformation."

"Le travail est une mesure quantitative de l'effort nécessaire pour transformer un système, et s'exprime en terme de consommation de l'énergie nécessaire pour l'obtenir. L'idée de travail implique un fond d'énergie nécessaire pour le causer."

"L'énergie qu'un système a en vertu de son déplacement est appelée énergie cinétique."

"Un système peut aussi avoir de l'énergie en vertu de sa configuration, si les forces du système sont telles que le système va faire un travail contre la résistance externe, alors qu'il passe dans une autre configuration. Cette énergie est appelée énergie potentielle."

"Les différentes énergies existantes dans un système ont été classées dans l'une de ces deux catégories."

"Un système chaud donnant de la chaleur à un système moins chaud peut produire du travail en causant une expansion s'opposant à la pression."

"L'énergie d'un explosif est de l'énergie chimique provenant de la possibilité pour les constituants de l'explosif de s'arranger d'une autre manière une fois explosés, de manière à occuper un volume plus grand que celui de l'explosif. Dans l'état actuel de la science, les chimistes se représentent les réactions chimiques comme un réarrangement de particules sous l'action de forces tendant à produire ce changement d'arrangement. De ce point de vue, l'énergie chimique est donc de l'énergie potentielle."

"Il y donc plusieurs manières de posséder de l'énergie pour un système et parfois on peut hésiter entre de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle, comme pour un gaz comprimé dont les particules heurtent les parois. La nature de l'énergie, en revanche est la même quelque-soit la forme dans laquelle on la trouve, et elle peut toujours s'exprimer par le produit de la masse d'un système se mouvant à une certaine vitesse."

"Comprendre l'énergie c'est comprendre combien de travail il faut effectuer sur un système pour le faire passer d'un état à un autre."

"L'énergie potentielle d'un système est sa capacité à faire un travail sur d'autres systèmes dépendant d'autres facteurs que le déplacement du système. En d'autres termes, l'énergie potentielle est cette énergie qui n'est pas cinétique. Et si l'énergie cinétique dépend du mouvement, l'énergie potentielle dépend de la configuration."

"La théorie de l'énergie potentielle est plus complexe que la théorie de l'énergie cinétique. En admettant que l'énergie d'un système dépende de sa configuration, les modes desquels elle dépend peuvent être plus complexes que le mode selon lequel l'énergie cinétique dépend uniquement du mouvement du système, car l'énergie cinétique peut être calculée par le mouvement des parties du systèmes par une méthode invariable. Il suffit de prendre le produit de la masse de chaque partie par sa vitesse et de faire la somme de tous ces produits. Alors que l'énergie potentielle provenant de l'action mutuelle de deux parties du système peut dépendre de la position relative du système d'une manière différente selon les changements. Ainsi l'énergie potentielle d'un système constitué de deux boules de billard est constante jusqu'à l'instant de l'impact à partir duquel elle augmente rapidement quand la distance diminue."

"Si un actant externe au système produit un changement d'une configuration initiale en une configuration finale et que la configuration finale possède plus d'énergie que l'initiale, il ne peut avoir reçu cet accroissement d'énergie que de l'actant. Cet actant doit donc avoir fait un travail égal à l'augmentation d'énergie. Il doit avoir exercé une force dans la direction du changement et la valeur moyenne de cette force multipliée par le déplacement doit être égale au travail fait. Donc la valeur moyenne de la force peut être trouvée en divisant l'augmentation d'énergie par le déplacement."

"Si en revanche l'énergie diminue au lieu d'augmenter alors que le changement augmente, le système doit faire du travail sur l'actant externe, et la force exercée par l'actant externe doit être dans la direction opposée de celle du déplacement."

"L'une des applications les plus importantes du principe de conservation de l'énergie se trouve dans la compréhension de la nature de la chaleur."

"A une époque on supposait que la différence entre un système quand il était chaud et quand il était froid était dû à une substance que l'on nommait Calorique, qui existait en plus grande abondance quand le système était chaud que froid."

"Dans l'usinage de canons comme dans la fonte de glace par frottement, du travail est fait pour surpasser les frictions, tout comme dans une machine à vapeur dans laquelle on fait faire du travail à la chaleur, le travail est proportionnel à la chaleur qui disparaît."

"Comme la chaleur produite ne peut être une substance. Et comme quand de l'énergie mécanique est introduite par frottement il y a production de chaleur et quand il y a gain d'énergie mécanique dans un moteur par une perte de chaleur. Et comme la quantité d'énergie perdue ou gagnée est proportionnelle à la quantité de chaleur gagnée ou perdue, on en conclut que la chaleur est une forme d'énergie."

"On a également des raisons de croire que les particules d'un système chaud sont dans un état d'agitation rapide mais que la direction de ces mouvements change si souvent qu'elle progresse peu ou pas du tout dans une direction particulière. Si tel est le cas, la part, et elle peut être très importante, de l'énergie d'un système chaud doit être sous forme d'énergie cinétique. Mais pour notre raisonnement présent il n'est pas nécessaire de saisir sous quelle forme l'énergie existe dans un système chaud. Le fait le plus important est que cette énergie peut être mesurée sous forme de chaleur, et comme toute forme d'énergie peut être transformée sous forme de chaleur, ceci nous donne une méthode pratique de la mesurer."

"Si certaines substances sont mises en contact, des réactions chimiques ont lieu, les substances se combinent d'une autre manière et le nouveau groupe de substances a des propriétés chimiques différentes du groupe originel. Durant le processus du travail mécanique peut être produit par expansion de la mixture, comme lors d'une explosion. Un courant électrique peut être produit comme dans une batterie; et de la chaleur peut être produite, comme dans la plupart des réactions chimiques."

"L'énergie fournie sous forme mécanique peut être mesurée directement ou elle peut être transformée en chaleur par frottement. L'énergie dépensée à produire un courant électrique peut être estimée comme de la chaleur en causant un flot de courant à travers un conducteur, de telle sorte que la chaleur soit facilement mesurable."

"L'énergie restant dans le mélange avec l'énergie qui s'en est échappée doit être égale à l'énergie originelle. On peut mesurer la chaleur produite lors de réactions et ces mesures permettent de calculer l'excès d'énergie que les substances avaient avant leur combinaison en plus de celle qu'elles ont après leur recombinaison."

"L'énergie se conserve. Ce principe fournit au scientifique une idée à laquelle se rattacher pour comprendre la dynamique d'un système."

"L'énergie totale d'un système est une quantité qui ne peut être ni augmentée ni diminuée par aucune action entre les parties du système, bien qu'elle puisse être transformée dans l'une quelconque des formes qu'elle est susceptible de prendre."

"Un système est considéré comme conservatif si toutes les différentes formes d'énergie qui existent dans le système sont prises en compte."

"Le travail est un acte de transformation d'un système en opposition à une force qui résiste à une telle transformation."

"Le travail est une mesure quantitative de l'effort nécessaire pour transformer un système, et s'exprime en termes de consommation de l'énergie nécessaire pour l'obtenir. L'idée de travail implique un fond d'énergie nécessaire pour le causer."

"L'énergie qu'un système a en vertu de son déplacement est appelée énergie cinétique."

"Un système peut aussi avoir de l'énergie en vertu de sa configuration, si les forces du système sont telles que le système va faire un travail contre la résistance externe, alors qu'il passe dans une autre configuration. Cette énergie est appelée énergie potentielle."

"Les différentes énergies existantes dans un système ont été classées dans l'une de ces deux catégories."

"Un système chaud donnant de la chaleur à un système moins chaud peut produire du travail en causant une expansion s'opposant à la pression."

"L'énergie d'un explosif est de l'énergie chimique provenant de la possibilité pour les constituants de l'explosif de s'arranger d'une autre manière une fois explosés, de manière à occuper un volume plus grand que celui de l'explosif. Dans l'état actuel de la science, les chimistes se représentent les réactions chimiques comme un réarrangement de particules sous l'action de forces tendant à produire ce changement d'arrangement. De ce point de vue, l'énergie chimique est donc de l'énergie potentielle."

"Il y donc plusieurs manières de posséder de l'énergie pour un système et parfois on peut hésiter entre de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle, comme pour un gaz comprimé dont les particules heurtent les parois. La nature de l'énergie, en revanche est la même quelque-soit la forme dans laquelle on la trouve, et elle peut toujours s'exprimer par le produit de la masse d'un système se mouvant à une certaine vitesse."

"Comprendre l'énergie c'est comprendre combien de travail il faut effectuer sur un système pour le faire passer d'un état à un autre."

"L'énergie potentielle d'un système est sa capacité à faire un travail sur d'autres systèmes dépendant d'autres facteurs que le déplacement du système. En d'autres termes, l'énergie potentielle est cette énergie qui n'est pas cinétique. Et si l'énergie cinétique dépend du mouvement, l'énergie potentielle dépend de la configuration."

"La théorie de l'énergie potentielle est plus complexe que la théorie de l'énergie cinétique. En admettant que l'énergie d'un système dépende de sa configuration, les modes desquels elle dépend peuvent être plus complexes que le mode selon lequel l'énergie cinétique dépend uniquement du mouvement du système, car l'énergie cinétique peut être calculée par la mouvement des parties du systèmes par une méthode invariable. Il suffit de prendre le produit de la masse de chaque partie par sa vitesse et de faire la somme de tous ces produits. Alors que l'énergie potentielle provenant de l'action mutuelle de deux parties du système peut dépendre de la position relative du système d'une manière différente selon les changements. Ainsi l'énergie potentielle d'un système constitué de deux boules de billard est constant jusqu'à l'instant de l'impact à partir duquel elle augmente rapidement quand la distance diminue."

"Si un actant externe au système produit un changement d'une configuration initiale en une configuration finale et que la configuration finale possède plus d'énergie que l'initiale, il ne peut avoir reçu cet accroissement d'énergie que de l'actant. Cet actant doit donc avoir fait un travail égal à l'augmentation d'énergie. Il doit avoir exercé une force dans la direction du changement et la valeur moyenne de cette force multipliée par le déplacement doit être égale au travail fait. Donc la valeur moyenne de la force peut être trouvée en divisant l'augmentation d'énergie par le déplacement."

"Si en revanche l'énergie diminue au lieu d'augmenter alors que le changement augmente, le système doit faire du travail sur l'actant externe, et la force exercée par l'actant externe doit être dans la direction opposée de celle du déplacement."

"L'une des applications les plus importantes du principe de conservation de l'énergie se trouve dans la compréhension de la nature de la chaleur."

"A une époque on supposait que la différence entre un système quand il était chaud et quand il était froid était dû à une substance que l'on nommait Calorique, qui existait en plus grande abondance quand le système était chaud que froid."

"Dans l'usinage de canons comme dans la fonte de glace par frottement, du travail est fait pour surpasser les frictions, tout comme dans une machine à vapeur dans laquelle on fait faire du travail à la chaleur, le travail est proportionnel à la chaleur qui disparaît."

"Comme la chaleur produite ne peut être une substance. Et comme quand de l'énergie mécanique est introduite par frottement il y a production de chaleur et quand il y a gain d'énergie mécanique dans un moteur par une perte de chaleur. Et comme la quantité d'énergie perdue ou gagnée est proportionnelle à la quantité de chaleur gagnée ou perdue, on en conclut que la chaleur est une forme d'énergie."

"On a également des raisons de croire que les particules d'un système chaud sont dans un état d'agitation rapide mais que la direction de ces mouvements change si souvent qu'elle progresse peu ou pas du tout dans une direction particulière. Si tel est le cas, la part, et elle peut être très importante, de l'énergie d'un système chaud doit être sous forme d'énergie"

cinétique. Mais pour notre raisonnement présent il n'est pas nécessaire de saisir sous quelle forme l'énergie existe dans un système chaud. Le fait le plus important est que cette énergie peut être mesurée sous forme de chaleur, et comme toute forme d'énergie peut être transformée sous forme de chaleur, ceci nous donne une méthode pratique de la mesurer."

"Si certaines substances sont mises en contact, des réactions chimiques ont lieu, les substances se combinent d'une autre manière et le nouveau groupe de substances a des propriétés chimiques différentes du groupe originel. Durant le processus du travail mécanique peut être produit par expansion de la mixture, comme lors d'une explosion. Un courant électrique peut être produit comme dans une batterie; et de la chaleur peut être produite, comme dans la plupart des réactions chimiques."

"L'énergie fournie sous forme mécanique peut être mesurée directement ou elle peut être transformée en chaleur par frottement. L'énergie dépensée à produire un courant électrique peut être estimée comme de la chaleur en causant un flot de courant à travers un conducteur, de telle sorte que la chaleur soit facilement mesurable."

"L'énergie restant dans le mélange avec l'énergie qui s'en est échappée doit être égale à l'énergie originelle. On peut mesurer la chaleur produite lors de réactions et ces mesures permettent de calculer l'excès d'énergie que les substances avaient avant leur combinaison en plus de celle qu'elles ont après leur recombinaison."

Force:

"L'effet total d'une force en communiquant une vitesse à un système est proportionnel à la force et à la durée pendant lesquelles elles agissent conjointement."

"Le produit de la durée d'action d'une force par son intensité, si elle est constante, ou son intensité moyenne, si elle est variable, est l'Impulsion de la force."

"Si une force agit sur une inertie unitaire pendant une certaine durée, l'impulsion est mesurée par la vitesse générée."

Impulsion:

1'877: "Matter and motion"

"L'effet total d'une force en communiquant une vitesse à un système est proportionnel à la force et à la durée pendant lesquelles elles agissent conjointement."

"Le produit de la durée d'action d'une force par son intensité, si elle est constante, ou son intensité moyenne, si elle est variable, est l'Impulsion de la force."

"Si une force agit sur une inertie unitaire pendant une certaine durée, l'impulsion est mesurée par la vitesse générée."

Masse:

"Seules des qualités portées par la matière sont accessibles à une observation quantitative. Si la quantité de matière est définie par un aspect quantitatif de l'une de ses propriétés, la "quantité de matière" va évidemment dépendre de la propriété qui a été choisie."

"Toute mesure est fondée sur un échange d'énergie et présuppose une interaction. Une réalité sur laquelle on ne peut agir est par principe non mesurable."

"C'est un pur hasard scientifique que deux qualités différentes de la matière, l'inertie et la charge gravitationnelle, mènent à la même "quantification". Si l'inertie et la charge thermique avaient été choisies comme critères, cela aurait inmanquablement donné des résultats numériques divergents."

1'842-1'919 Rayleigh John

1'877: "Theory of sound"

Sa table des matières contient l'entrée "Method of Dimensions".

Rayleigh utilise systématiquement l'analyse des essences mais n'exposa jamais les bases de sa méthode, disant simplement qu'elle était efficace pour comprendre la réalité.

Sa méthode fonctionne bien pour les systèmes mécaniques simples où le nombre des indices de répétition est égal au nombre d'équations.

Pour les réalités impliquant les transferts de masse et de chaleur, il y a plus d'inconnues que d'équations. Il faut donc assigner une valeur à chacune de ces deux inconnues et ensuite prouver que ces inconnues supposées sont indépendantes, ce qui crée de la confusion pour les réalités où de tels phénomènes existent.

1'854-1'912 Poincaré Henri

1'900: "La théorie de Lorentz et le principe de réaction"

1'902: "La science de l'hypothèse"

1'905: Ondes gravitationnelles

1'905: "Sur la dynamique de l'électron"

1'908: "Thermodynamique"

1'854-1'924 Föppl August

Beau-père de Prantl Ludwig (1'875-1'973) et grand-père de Thoma Jean (1'927-2'011).

La grande synthèse:

1'892: *"Das Fachwerk im Raume"*

1'894: *"Einführung in die Maxwellsche Theorie der Elektrizität"*

1'896: *Physique systématique*

1'896: *"Die Geometrie der Wirbelfelder"*

1'892: *"Das Fachwerk im Raume"*

1'920: *"Drang und Zwang: eine höhere Festigkeitlehre für Ingenieure"*

1'856-1'939 Freud Sigmund

Premier psychologue systémicien.

Comprend l'importance des émotions dans le génie humain, en particulier scientifique.

1'910: Psychologie systématique

1'910: *"Leonardo da Vinci: a memory of his childhood"*

1'912: *"La dynamique du transfert"*

1'912: *"Totem et tabou"*

1'857-1'899 Vaschy Aimé

1'890: *"Traité d'électricité et de magnétisme"*

1'892: *"Sur les lois de similitude en physique"*

1'892: *"Sur les lois de similitude en électricité"*

1'893: *"Sur une propriété générale des champs admettant un potentiel"*

1'894: *"Théorème général sur les actions en raison inverse du carré des distances"*

1'895: *"Sur la définition des masses et des forces"*

1'897: "*Etudes des propriétés expérimentales des diverses énergies*"

1'867-1'940 Buckingham Edgar

1'902: "*Theory of thermodynamics*"

1'914: *Théorème pi*

1'914: "*On the similarity of physical systems*"

1'915: "*The similitude principle*"

1'915: "*Model experiments and the form of empirical equations*"

1'920: "*Jet propulsion for airplanes*"

Expose son théorème Pi qui sera la base mathématique de la science dimensionnelle.

"S'il existe une relation unique entre n entités qui impliquent k dimensions, alors il existe aussi une relations entre $n-k$ groupes abstraits comprenant les n entités".

1'875-1'961 Jung Gustav

Etudes sur la synchronicité et la causalité avec Pauli Wolfgang (1'900-1'958), Directeur de thèse de Thoma Jean (1'927-2'011).

1'912: "*Psychoanalysis*"

1'928: "*Uber die Energetik der Seele*" ("*L'énergie psychique*")

1'934: "*Les archétypes de l'inconscient collectif*"

1'957: "*Gegenwart und Zukunft*" ("*Présent et futur*")

1'964: "*L'homme et ses symboles*" (*métaphores*)

"C'est parce que d'innombrables faits se situent au-delà de l'entendement humain que nous utilisons constamment des termes symboliques, des métaphores pour représenter des idées que nous ne pouvons ni définir ni comprendre pleinement."

1'879-1'955 Einstein Albert

1'905: "Electrodynamique des corps mouvants"

Reprend sans le citer les idées publiées par August Föppl en 1'894 dans:

"Einführung in die Maxwellshe Theorie der Elektrizität" ("Introduction à la théorie de l'électricité de Maxwell"),

et en 1'897 dans:

"Die Geometrie der Wirbelfelder" ("La géométrie de l'espace courbe").

Annotation manuelle de Föppl dans un exemplaire de son livre "Die Geometrie der Wirbelfelder (en marge de la ligne 5 de la page 5): "Einstein vorausgesagt" ("dit avant Einstein").

Reprend aussi, de nouveau sans le citer, l'équation

$$E=mc^2$$

publiée par Olinto de Preto à Venise en 1'903 dans les Actes de l'Institut royal vénitien des science (page 459, 4^{ème} ligne).

1'882-1'961 Bridgman Percy

1'922: "Dimensional Analysis"

1'936: "The nature of physical theory"

1'950: "Reflections of a physicist"

1'959: "The way things are"

Présente une revue de l'analyse essentielle et une preuve de la validité de la méthode des indices de Rayleigh.

1'896-1'980 Piaget Jean

"Si j'avais une idée tout à fait nouvelle, je ne pourrais pas la comprendre."

"Comprendre, c'est inventer."

1'923: "Le langage et la pensée chez l'enfant"

- 1'926: "La représentation du monde chez l'enfant"*
- 1'927: "La causalité physique chez l'enfant"*
- 1'936: "La naissance de l'intelligence chez l'enfant"*
- 1'937: "La construction du réel chez l'enfant"*
- 1'941: "Le développement des quantités chez l'enfant: conservation et atomisme"*
- 1'942: "Classes, relations et nombres"*
- 1'946: "Le développement de la notion de temps chez l'enfant"*
- 1'947: "La psychologie de l'intelligence"*
- 1'948: "La géométrie spontanée chez l'enfant"*
- 1'949: "La représentation de l'espace chez l'enfant"*
- 1'950: Epistémologie systémique*
- 1'950: "Introduction à l'épistémologie génétique"*
- 1'950: "La pensée physique"*
- 1'952: "Essai sur les transformations des opérations logiques: les 256 opérations ternaires"*
- 1'964: "L'épistémologie de l'espace"*
- 1'967: "Logique et connaissance scientifique"*
- 1'968: "Le structuralisme"*
- 1'971: "Les explications causales"*
- 1'972: "La direction des mobiles lors de chocs et de poussées"*
- 1'972: "La transmission des mouvements"*
- 1'973: "La formation de la notion de force"*
- 1'973: "La composition des forces et le problème des vecteurs"*
- 1'983: "Psychogénèse et histoire des sciences"*

1'909-1'992 Langhaar Henry

1'951: "Dimensional Analysis and the Theory of Models"

Formule la science naturelle sous forme matricielle.

Prouve le concept d'homogénéité.

1'930- 2'000 Szücs Ervin

1'976: "Dialoge über technische prozesse"

1'980: "Similitude and modeling"

1'932-1'977 Solari Luigi

1'961: Econométrie systémique

1'961: "De l'économie qualitative à l'économie quantitative"