**Calcul graphique,**
**Construction et utilisation d'un abaque**

Article présent dans la rubrique Mathématiques et Sciences Physiques au lycée professionnel du site de l'académie d'Amiens à :
http://www.ac-amiens.fr/pedagogie/math-sciences/rubrique.php3?id_rubrique=50

---

# CALCUL GRAPHIQUE
# LES ABAQUES

## PARTIE 1 : GÉOMÉTRIE

**1** – **Tracer** ci-dessous un secteur angulaire saillant xÔy.

**2** – **Construire** au compas la bissectrice [Oz) du secteur angulaire xÔy.

**3** – A l'aide d'une règle graduée, **porter** sur la demi-droite [Ox) une graduation telle que 1 cm représente 5 unités.

**4** – **Construire** au compas une graduation identique sur la demi-droite [Oy).

**5** – En positionnant la règle sur chaque segment joignant les graduations de même valeur ( 5-5 ; 10-10 ; etc…….) **construire** une nouvelle graduation sur la bissectrice [Oz).
( *afin de ne pas "alourdir " le dessin, évitez de tracer les segments, repérez seulement l'intersection avec la bissectrice* ) .

**6** – **Affecter** à chaque trait de cette graduation de la bissectrice la demi-valeur des extrémités du segment correspondant
(*par exemple au segment [10-10] correspond la graduation 5 sur la bissectrice*)

## PARTIE 2 : ABAQUE

Vous venez de réaliser un **ABAQUE**, c'est-à-dire une construction géométrique permettant une réponse graphique (souvent approchée) remplaçant un calcul.

Celui que vous venez de tracer permet de déterminer un nombre X tel que :

$$\frac{1}{X} = \frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} \quad (X_1 \text{ et } X_2 \text{ étant donnés})$$

Exemple d'utilisation : $X_1 = 30$ et $X_2 = 50$

a) **Repérez** la graduation 30 sur [Ox).
b) **Repérez** la graduation 50 sur [Oy).
c) **Tracez** la droite passant par ces 2 graduations.
d) Cette droite coupe [Oz) en un point R. Le nombre recherché est l'abscisse du point R sur [Oz)

Bien sûr dans notre cas la graduation de la bissectrice ne permet de donner qu'un encadrement. Nous verrons plus loin l'utilisation d'un abaque plus complet.

Votre relevé : ..... **< X <** .....

## PARTIE 3 : PROPORTIONS

Pour obtenir un résultat plus précis, suivez le protocole décrit ci-dessous :

a) **Relevez** avec votre règle graduée la mesure, en mm, (donner le résultat à l'unité) d'un segment de 20 unités de [Oz) :

..... mm

b) **Relevez** de même la mesure de [OR] : OR = ..... mm

c) **Complétez** le tableau, puis calculez $\mathbf{x_R}$ l'abscisse du point R.

*Détaillez les calculs*
*Donnez le résultat arrondi à l'unité.*

| | |
|---|---|
| ..... mm | 20 unités |
| ..... mm | $\mathbf{x_R}$ |

d) Le résultat est-il conforme à l'encadrement donné en partie 2 ? .....

## PARTIE 4 : CALCULATRICE

**Repérez** sur votre calculatrice la touche affectée à la fonction inverse : soit [1/x] soit [$x^{-1}$]

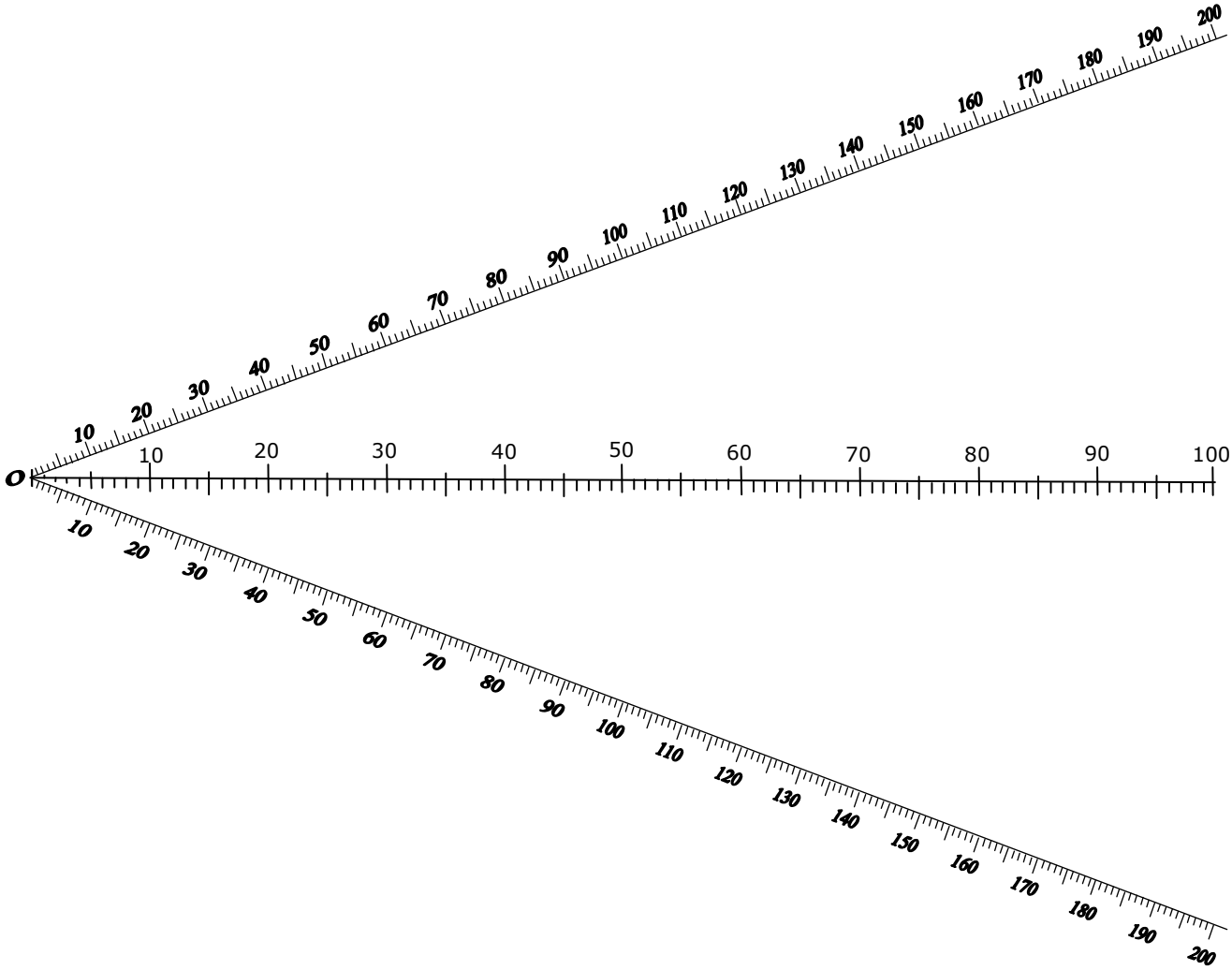
**Frappez** : 30 [1/x] + 50 [1/x] [=] [1/x]

**ATTENTION !**
Si vous vous arrêtez à " = " vous obtenez l'inverse de x et non x.

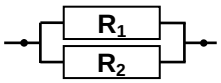
Résultat : X = .....

# PARTIE 5 : APPLICATIONS

La formule $\frac{1}{X} = \frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2}$ est abordée dans différents domaines.
En voici trois utilisations.




## RÉSISTORS




2 résistors, montés en dérivation, de résistance respective $R_1$ et $R_2$ , ont une résistance équivalente R telle que :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

On donne $R_1 = 70\ \Omega$ et $R_2 = 130\ \Omega$

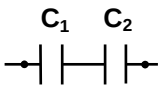
1) A l'aide de l'abaque **donner** une valeur approchée de R.

R = .....Ω

2) **Calculer** à la calculatrice la valeur exacte de R.

R = .....Ω

## CONDENSATEURS




2 condensateurs, montés en série, de capacité respective $C_1$ et $C_2$ , ont une capacité équivalente C telle que :

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

*L'unité de capacité est le* **Farad (F)**
*Un de ses sous-multiple est le* **microfarad (µF)** : **1 µF = $10^{-6}$ F**

On donne $C_1$ = 165 µF et $C_2$ = 135 µF

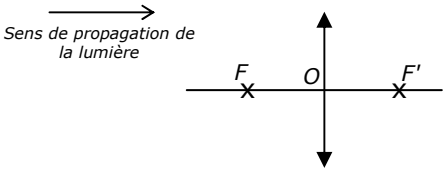
1) A l'aide de l'abaque **donner** une valeur approchée de C.

C = ……µF

2) **Calculer** à la calculatrice la valeur exacte de C.

C = ……µF

## LENTILLES

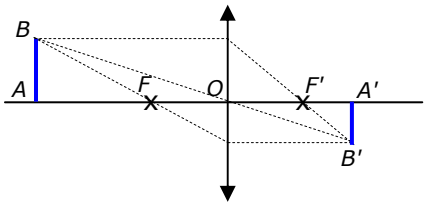



Une lentille mince convergente est caractérisée par 4 paramètres :

- L'axe optique (FF')
- Le centre optique O
- Le foyer principal objet F
- Le foyer principal image F'

Des constructions géométriques permettent de définir la **<u>formule de conjugaison</u>**.

Pour un objet AB placé "avant" F, l'image A'B' se forme "derrière" la lentille et est renversée.




En posant :
FO = OF' = f distance focale
AO = p distance de l'objet à la lentille
OA' = p' distance de la lentille à l'image

La formule de conjugaison est :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

On donne p = 80 cm et p' = 170 cm

1) A l'aide de l'abaque **donner** une valeur approchée de f.

f = ……cm

2) **Calculer** à la calculatrice la valeur exacte de f.

f = ……cm

La lecture des abaques est encore présente dans les sections industrielles (CAP/BEP/IUT) mais les connaissances exigées diminuent au fur et à mesure des programmes. Alors que l'usage des abaques était répandu jusqu'aux années 1970, années de l'apparition de moyens de calcul via des calculatrices ou des ordinateurs, qu'en est-il aujourd'hui?
On trouve encore de nombreux abaques dans les manuels d'enseignement, plusieurs exemples ont été trouvés (en mécanique pour les engrenages, en physique pour les propriétés des matériels, en chimie pour les propriétés des solides, liquides et gaz, . . . ).

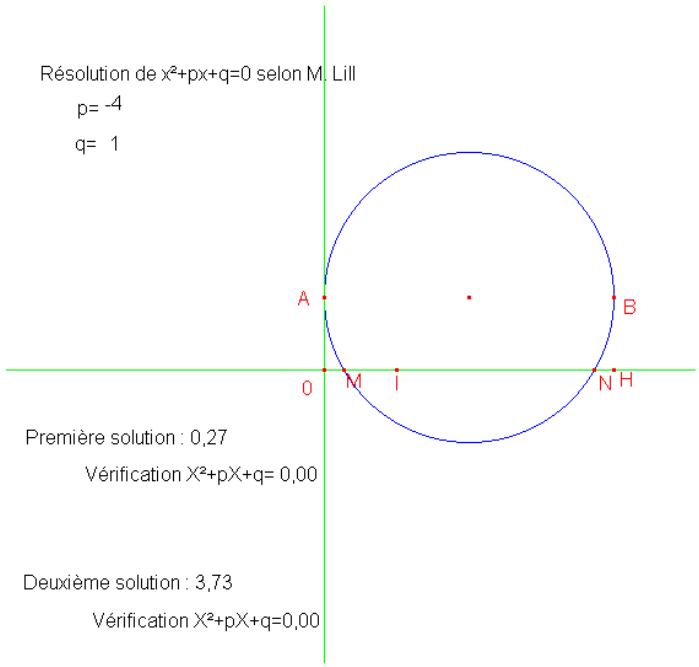
Après la présentation de deux exemples, je résume, dans cette présentation, quelques étapes de l'histoire qui ont conduit de la lecture graphique à l'invention d'une nouvelle science, la nomographie. Quels en furent les savants importants ? Sur quelles parties des mathématiques s'appuie-t-elle? Pour finir on pourra se demander ce qu'il reste, aujourd'hui des abaques ou des nomogrammes?

## I) Introduction

Maurice d'Ocagne dans *Sur les divers modes d'application de la Méthode Graphique à l'Art du Calcul* dans *Compte rendu du deuxième congrès international de mathématiciens*, Maurice d'Ocagne, *Paris, 1902* :
"…les divers procédés de calcul qui reposent sur l'emploi du graphique dérivent de deux modes généraux parfaitement distincts l'un de l'autre, de figurer par le dessin les opérations arithmétiques dont l'ensemble exécuté sur certains nombres constitue le calcul."

<u>Le premier mode évoqué par M. d'Ocagne</u>
Soit une construction géométrique permettant d'obtenir la valeur à déterminer sur un ensemble de valeurs données elles-aussi géométriquement (par des longueurs, des angles, des aires, …). Cette méthode est appelée calcul graphique ou *Calcul par le trait*.

Exemple : la résolution de l'équation du second degré $x^2 + px + q = 0$ par M. Eduard Lill, capitaine du génie de l'armée autrichienne (il a fait aussi celle du troisième et publié en 1867, méthode connue sous le nom d'octogone de Lill)

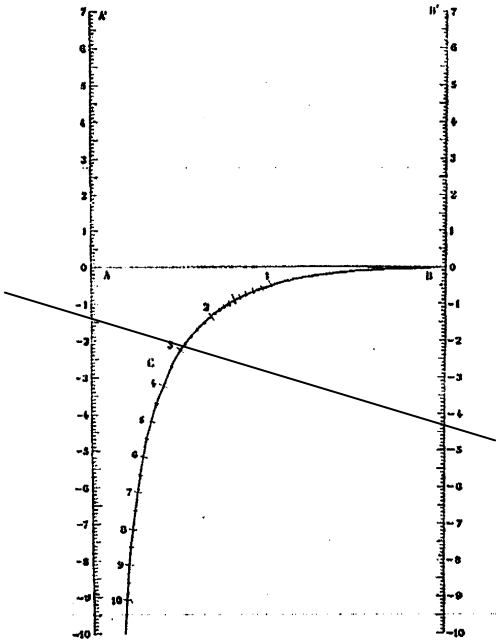



On a sur la figure ci-contre $\overline{OI} = \overline{OA} = 1$, $\overline{OH} = -p$ et $\overline{HB} = -q$.
Lorsque c'est possible, le cercle de diamètre [*AB*] coupe l'axe des abscisses en deux points *M* et *N* tels que leurs abscisses dans le repère constitué fournissent les deux solutions.

**Second procédé graphique**

Cette méthode ne consiste pas à construire géométriquement le résultat d'un calcul mais de fournir une lecture graphique du résultat fourni par une formule sur un ensemble de valeurs données. Toujours M. d'Ocagne : "*L'ensemble de ces systèmes d'éléments cotés, complété par la connaissance de la relation de position à établir entre eux, constitue un abaque ou nomogramme de l'équation proposée.*"

On peut alors faire l'analogie entre d'une part le calcul et une table de calcul rassemblant un certain nombre de ceux-ci et, d'autre part, le calcul graphique avec un abaque présentant un certain nombre de résultats de ceux-ci.



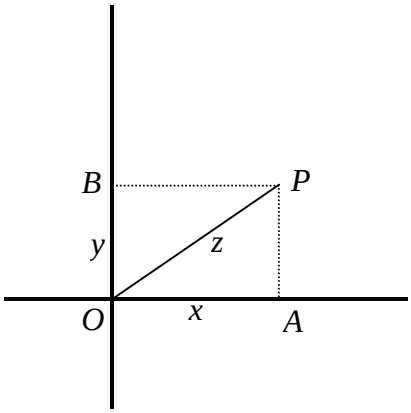
Exemple, retour sur l'équation du second degré précédente :

Alors que la graduation verticale de gauche représente les différentes valeurs de $p$ envisagées et celle de droite celles de $q$, une solution positive est donnée sur la branche d'hyperbole.

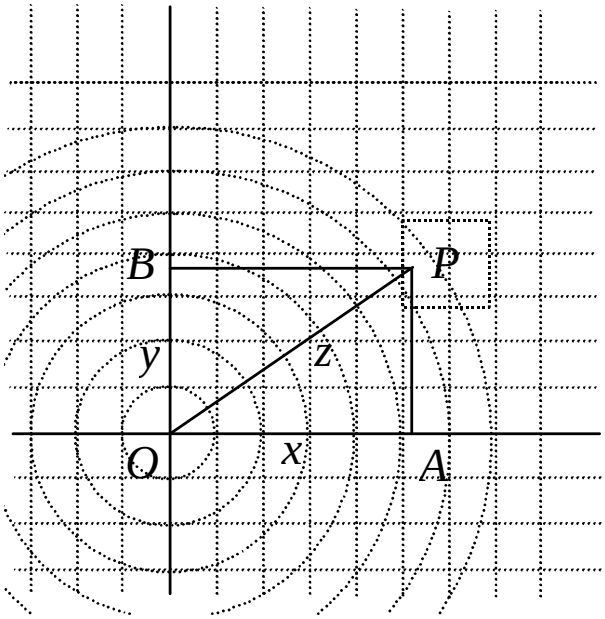
Remarque

En considérant un lieu géométrique des points construits par le trait pour une des valeurs fixées en supposant que les autres varient, on est amené à construire un nomogramme comme l'illustre l'exemple suivant :

$x$, $y$ et $z$ sont reliés par la relation $z^2 = x^2 + y^2$.
Géométriquement, cette relation correspond à celle entre les coordonnées cartésiennes d'un point et la distance du point considéré à l'origine de ce repère.




Si $x$ est constant, $P$ décrit la perpendiculaire à $(Ox)$ passant par $A$.
Si $y$ est constant, $P$ décrit la perpendiculaire à $(Oy)$ passant par $B$.
Si $z$ est constant, $P$ décrit le cercle de centre $O$ passant par un point donné.



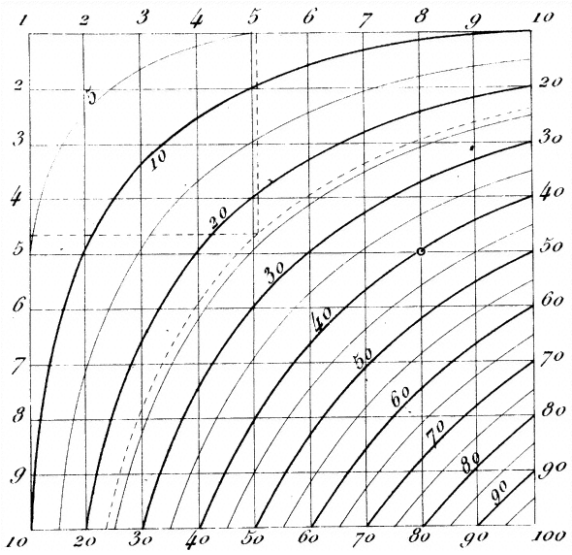

Mais réciproquement, tout monogramme peut ne pas conduire à un calcul par le trait (situations non constructible, comme une graduation logarithmique à essayer de construire).

**II) Les améliorations successives des abaques pour construction et une lecture simplifiées**

Louis Ezechias Pouchet (1748-1809), un manufacturier de Rouen, rédigea en 1795 un ouvrage qui contenait une table graphique facilitant la mise en place des nouveaux systèmes des poids et mesures à la révolution (l'article 19 de la loi du 18 germinal an III prescrivait la construction d'échelles métriques permettant de réaliser les conversions sans calcul).

*Le système métrique décimal est institué pour toute la République(loi du 18 germinal an III).*
*Ce système de mesure comprend :*
*- le **mètr**e, comme unité de longueur,*
*- l'**are**, (du latin area) comme unité dérivée de superficie agraire,*
*- le **litre**, (du grec* litra*) et stère comme unités dérivées de capacité,*
*- le **gramme**, (du grec* gramma*) comme unité dérivée de masse,*
*- le **bar**, comme unité dérivée de pression*
*et utilise des préfixes grecs pour les multiples :*
*- déca (x 10), hecto (x 100), kilo (x 1 000), myria (x 10 000),*
*et des préfixes latins pour les fractions :*
*- déci (1/10), centi (1/100), milli (1/1 000).*
*- Les préfixes bi et mi pour double et moitié sont interdits.*
*- Le kilogramme est la masse du décimètre cube d'eau pure à 0°C. (1 litre)*
*- L'unité monétaire est le franc (dit germinal) avec commesous-multiples, les décimes et centimes.*
Le stère, le gramme, le kilogramme et la tonne remplacent respectivement le cade, le gravet, le grave et le bar.
*Les étalons seront dorénavant en platine.*

Il représente dans son ouvrage une table graphique illustrant la relation $z = xy$ par des lignes de niveaux :
des droites à $x$ et $y$ constants et des branches d'hyperboles à $z$ constant.




Outre l'apparition du terme abaque, l'avancée apportée par Léon-Louis Lalanne, ingénieur des ponts et chaussées 1811-1892, consiste à envisager des graduations autres qu'arithmétiques pour ramener les courbes de niveau de la variable à calculer en droites.

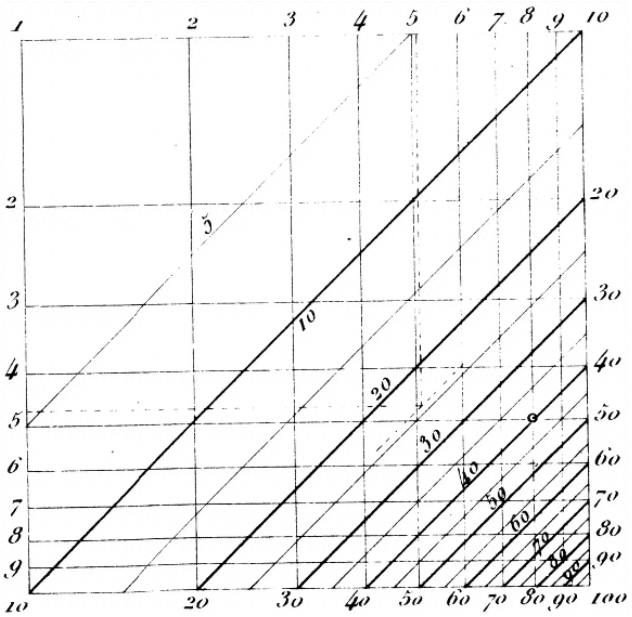
Par exemple, en repartant de la table de Pouchet, les propriétés du logarithme permettent de transformer

$$z = xy$$

en

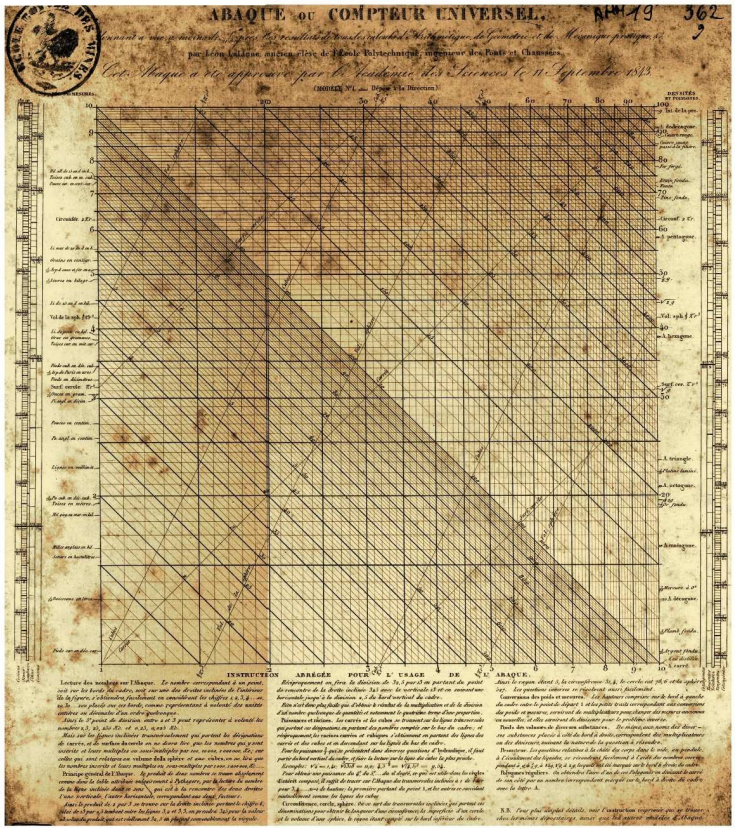
$$\ln z = \ln x + \ln y.$$

Les courbes de niveau de $\ln z$ et donc de $z$ sont les droites d'équation $x' + y' = \ln z$ dans un repère approprié.




*Léon Lalanne, "Mémoire sur les tables graphiques et sur la géométrie anamorphique appliquée à diverses questions qui se rattachent à l'art de l'ingénieur,"* Annales des Ponts et Chaussées, *2nd Ser., 1846,* 11:*1–69, plate 98, figure 4*

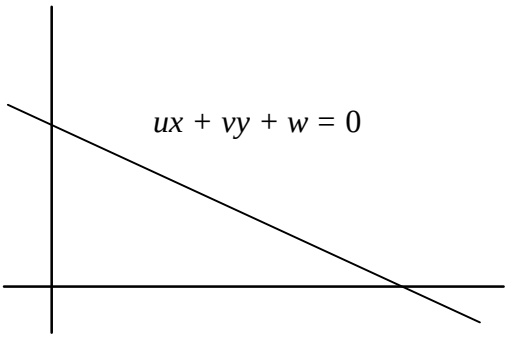
Par analogie avec l'optique, Lalanne qualifie cette transformation d'anamorphose géométrique. Cette évolution rend plus facile la construction des abaques. En effet, une droite est plus facile à tracer qu'une courbe quelconque !



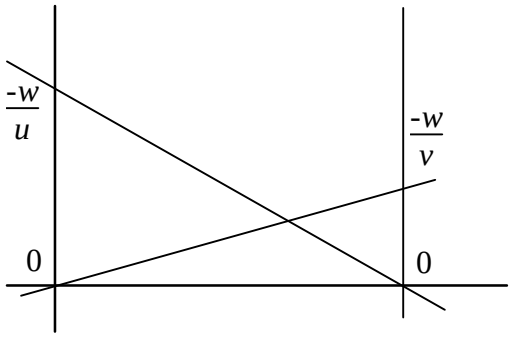

Abaque ou compteur universel donnant à vue à mois de 1/200 près tous les calculs d'Arithmétique, de Géométrie et de Mécanique pratique par Léon Lalanne, ancien élève de l'Ecole Polytechnique, ingénieur des Ponts et Chaussées et contenant les instructions nécessaire pour sa lecture.

En 1843, l'administration française adressa à tous les ingénieurs concernés des tables graphiques pour le calcul des superficies de déblai et de remblai relatives au profil des routes et voies ferrées.

Enfin, Maurice d'Ocagne, ingénieur des ponts et chaussées, (1862-1938) apporte lui aussi un nouveau nom à cette science, celle de la nomographie, fait progresser la construction des abaques en transformant les abaques à droites concourantes en nomogrammes à points alignés à l'aide de la géométrie projective. Ces derniers sont plus faciles à lire et surtout prennent moins de place.




Coordonnées Cartésiennes

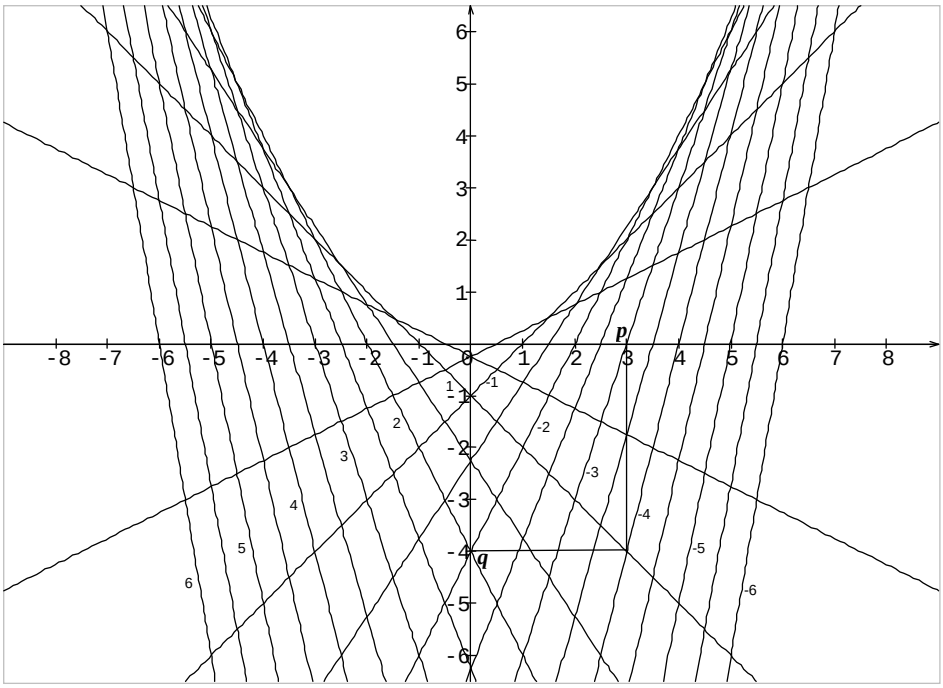



Coordonnées parallèles

Par dualité, la droite dans le repère cartésien est associée à un point dans le repère à coordonnées parallèles (ce point étant défini par les deux points caractérisant la droite de coordonnées $\left(\frac{-w}{u},0\right)$ et $\left(\frac{-w}{v},0\right)$.

<u>Retour sur l'équation du second degré</u>

Soit à résoudre l'équation $x^2 + px + q = 0$ qui est une équation du type $f(x , p , q) = 0$.
La donnée de l'une des valeurs conduit bien à rechercher la ligne de niveau correspondante.
Par exemple, si $x = c^{ste} = a$, alors la ligne de niveau recherchée est définie par $f(a , p , q) = 0$. Dans ce cas le ligne de niveau est une droite d'équation $q = -px - x^2$ en l'ensemble des points $M$ $(p ; q)$.



Sur cet abaque, en portant $p$ et $q$ sur les axes, on trouve la droite de niveau associée. On trouve ainsi les solutions de l'équation.

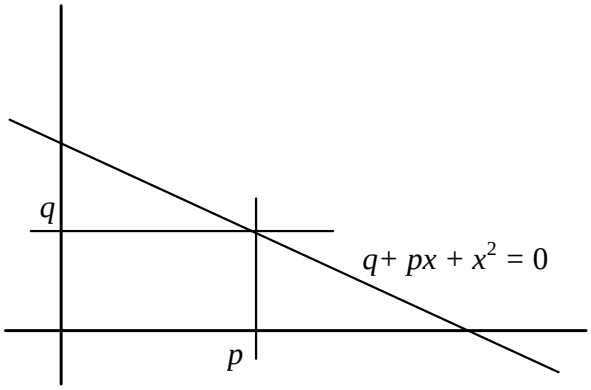
L'enveloppe de cette famille de droites est obtenue en éliminant le paramètre $x$ entre son équation $x^2 + px + q = 0$ et sa dérivée suivant le paramètre $x$ :

$$\begin{cases} x^2 + px + q = 0 \\ 2x + p = 0 \end{cases} \text{ ssi } \begin{cases} \left(\frac{-p}{2}\right)^2 + p\left(\frac{-p}{2}\right) + q = 0 \\ x = \frac{-p}{2} \end{cases} \text{ ssi } \begin{cases} \frac{p^2}{4} - \frac{p^2}{2} + q = 0 \\ x = \frac{-p}{2} \end{cases} \text{ ssi } \begin{cases} q = \frac{p^2}{4} \\ x = \frac{-p}{2} \end{cases}.$$

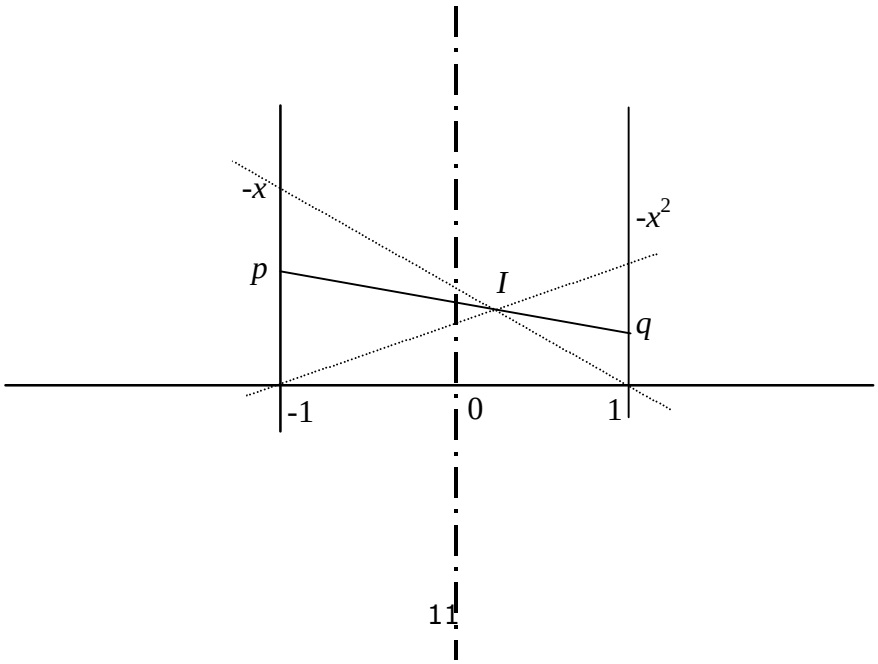
On obtient ainsi la parabole d'équation $q = \frac{p^2}{4}$ qui divise le plan en deux régions :

- la première d'inéquation $q \leqslant \frac{p^2}{4}$ pour laquelle il existe au moins une solution à l'équation ($\Delta = (p)^2 - 4q \geqslant 0$)
- la seconde $q > \frac{p^2}{4}$ pour laquelle il n'existe pas de solution.

Construction de l'abaque de M. d'Ocagne :
En utilisant les propriétés projectives, l'intersection ci-dessous

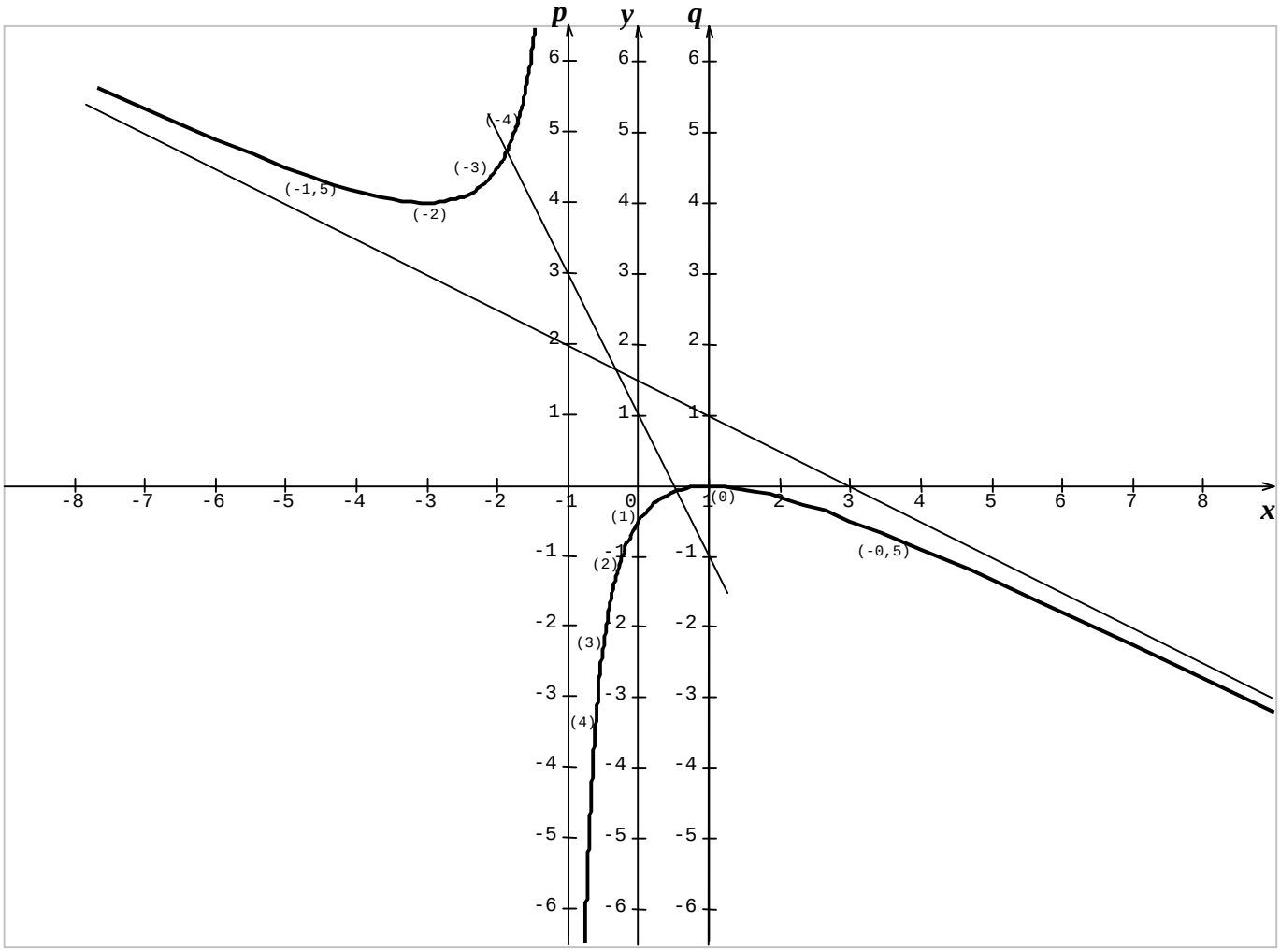



est représentée par l'alignement des trois points comme sur la figure ci-dessous :



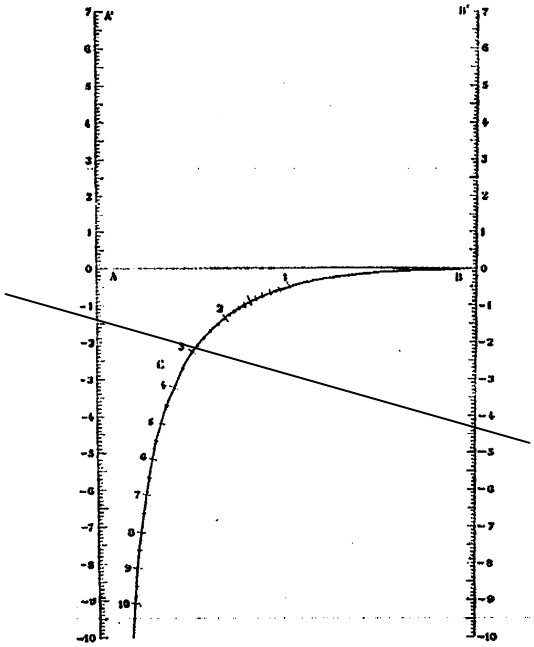
En posant les deux droites verticales d'équations $x = -1$ et $x = 1$, cela signifie l'alignement des points de coordonnées $(-1;p;1)$, $(1;q;1)$ et $\left(\frac{1-x}{1+x}, \frac{-x^2}{1+x}, 1\right)$ (ce dernier point étant obtenu par la recherche du point d'intersection $I$ ci-dessus)

La courbe décrite par $I\left(\frac{1-x}{1+x}, \frac{-x^2}{1+x}\right)$, pour $x \in \mathbb{R}$, est l'hyperbole d'équation cartésienne
$(v - 2)^2 - (u + v - 1)^2 = 4$ représentée ci-dessous :




Se donner deux valeurs de $p$ et $q$ permet par alignement sur l'abaque de retrouver les points de l'hyperbole et leurs valeurs de $x$ associées.

Afin de réduire les dimensions de l'abaque et pour optimiser un peu plus son utilisation, on peut ne considérer que les valeurs positives de la variable $x$, c'est-à-dire entre les deux droites d'équations $x = -1$ et $x = 1$.
En effet, dans le cas où au moins une solution serait négative,
soit
$x_0^2 + px_0 + q = 0$
alors
$(-x_0)^2 + p(-x_0) + q = 0$
et cette solution aurait son contraire solution de
$x^2 - px + q = 0$



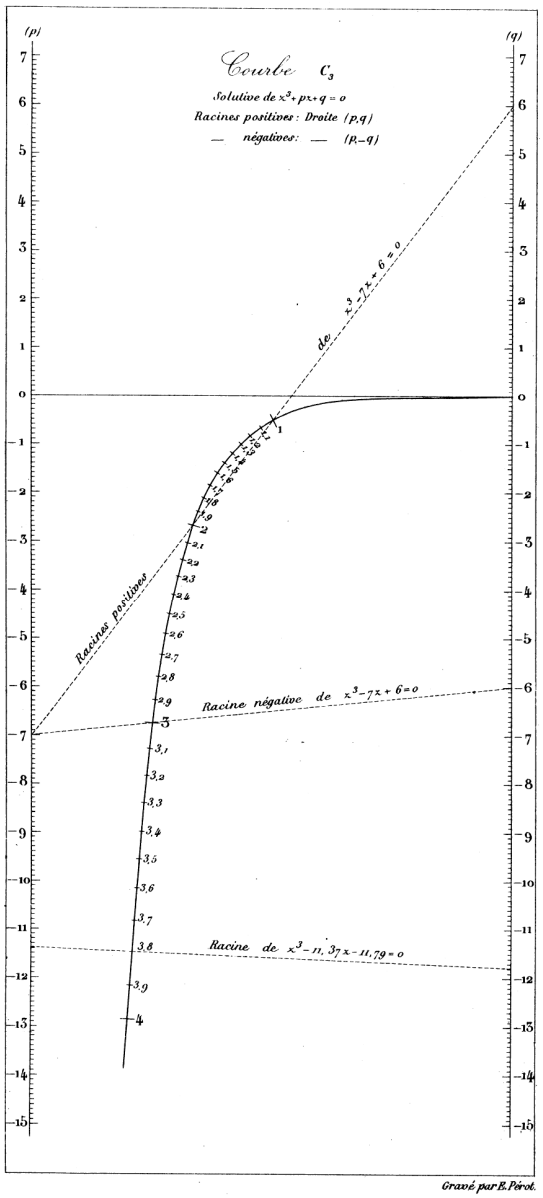
M. D'ocagne fait également remarquer qu'à partir de cet abaque, on retrouve certaines des opérations arithmétiques élémentaires :

Si $x_1$ et $x_2$ sont deux solutions de l'équation $x^2 + px + q = 0$, la droite passant par les points $(-1;p)$ et $(1;q)$ coupe la courbe $(C_2)$ en deux points cotés $x_1$ et $x_2$.
Réciproquement,
- la droite qui joint les points cotés $x_1$ et $x_2$ coupe l'axe d'équation $x = -1$ en le point coté $p$ tel que
$-p = x_1 + x_2$.
- la droite qui joint les points cotés $x_1$ et $x_2$ coupe l'axe d'équation $x = 1$ en le point coté $q$ tel que
$q = x_1 x_2$.
Ceci permettant d'effectuer graphiquement l'addition et le produit.

La droite définie par le point de coordonnées $(-1,-p)$ et le point de $(C_2)$ coté $x_1$ coupe $(C_2)$ en un autre point coté $x_2 = p - x_1$ et cela permet d'effectuer une soustraction.

La droite définie par le point de coordonnées $(1,q)$ et le point de $(C_2)$ coté $x_1$ coupe $(C_2)$ en un autre point coté $x_2 = \frac{q}{x_1}$ et cela permet d'effectuer une division.

Si $x_1 = x_2$ dans les cas précédents, la tangente à $(C_2)$ coupe l'axe d'équation $x = 1$ en $q$ tel que $q = x_1^2$ et cela permet d'effectuer graphiquement l'opération de l'élévation au carré.



Dans le cas où $q > 0$, la droite définie par les deux points de coordonnées (-1;0) et (1;$q$) coupe ($C_2$) en le point coté $\sqrt{q}$ .

Plus généralement, pour résoudre l'équation $x^n + px + q = 0$, on utilise la courbe ($C_n$) construite ci-contre. En utilisant les points de cotes $p$ et $q$ sur leurs axes respectifs, on trouve à l'intersection entre la droite formées par ces deux points et ($C_n$) la ou les solutions positives si elles existent.
Pour obtenir les racines négatives,

- Si $n$ est pair, il faut considérer l'intersection de ($C_n$) avec la droite formée par les points de cotes $-p$ et $q$.

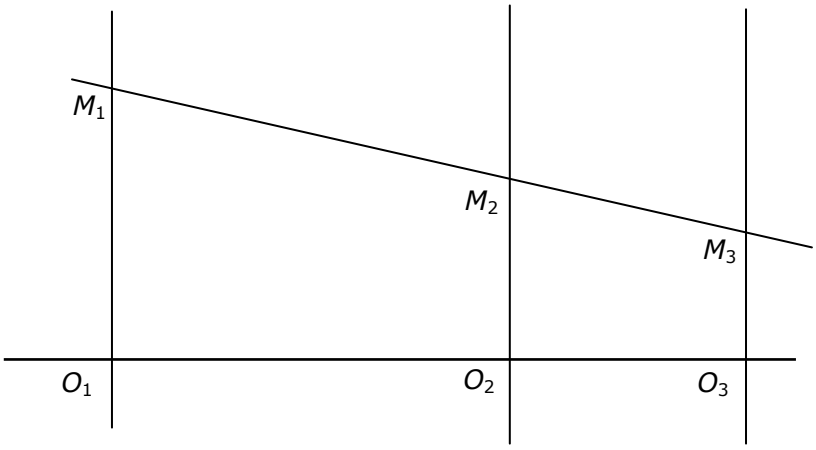
- Si $n$ est impair, il faut considérer l'intersection de ($C_n$) avec la droite formée par les points de cotes $p$ et $-q$.

De même que pour l'utilisation des propriétés algébriques des solutions sur la courbe ($C_2$), la courbe ($C_n$) permet d'effectuer graphiquement l'élévation à la puissance $n$ et la racine $n^{\text{ième}}$.

Tout ouvrage concernant les abaques développe l'apport de Lalanne sur les premiers abaques de Pouchet, c'est-à-dire les différentes transformations pouvant être apportées sur les différents axes (anamorphoses géométrique de Lalanne) permettant de construire des abaques à points alignés plutôt que des courbes de niveaux plus complexes à construire.

Cette possibilité étant établie, on découvre ensuite différents types d'abaques permettant d'interpréter chacun une famille de formules :
1) Abaque à trois droites parallèles
2) Abaque à deux droites parallèles et une courbe
3) Abaque à deux droites parallèles, la troisième étant sécante aux deux premières (dit "en N")
4) Abaque à trois droites concourantes (dit "en W")
5) Abaque à trois droites quelconques (dit "en triangle")
6) Autres types d'abaques
    les abaques rayonnants
    les abaques du type de Pouchet, des lignes de niveaux
    les abaques circulaires
    …

1) Dans le cas où l'abaque est à points alignés, chacun des ces points sur trois droites parallèles (la généralisation à plus de trois droites étant possible)



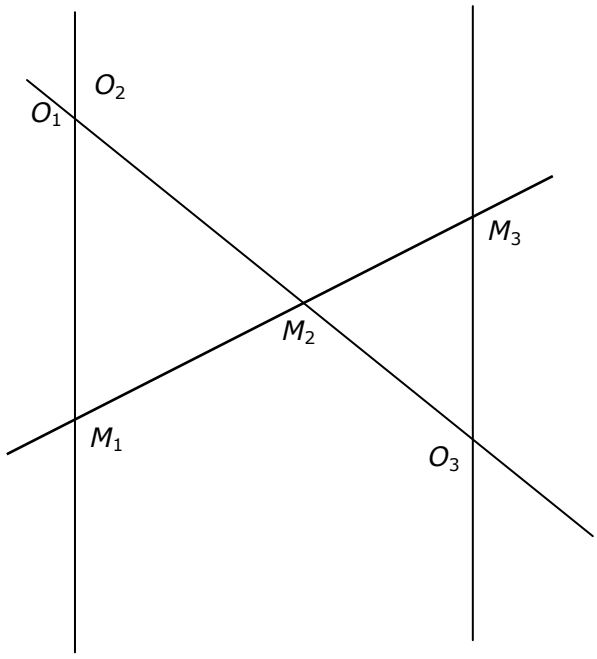

Chacun de ces axe étant pourvu de son propre repérage, les points $M_1$, $M_2$ et $M_3$ (de graduations respectives $x_1$, $x_2$ et $x_3$) sont alignés
ssi l'un de ces trois points est barycentre des deux autres
ssi, par projection sur l'un de ces trois axes, la graduation de ce point est barycentre avec les mêmes coefficients des deux autres graduations
ssi, par exemple, $x_3 = ax_2 + \mathrm{b}x_3$

Ainsi, tout abaque à points alignés sur des droites parallèles permet d'interpréter toute relation linéaire entre ces variables ou pouvant s'y ramener.
Réciproquement, on vérifie que toute relation de ce type peut être traduite par un abaque à trois droites parallèles.

L'annexe I présente plusieurs de ces abaques

2) On retrouve dans cet abaque l'abaque contenant les courbes ($C_n$) d'Ocagne.
L'annexe II présente d'autres abaques de ce type.

3) Cet abaque peut être représenté de la façon suivante :




On peut supposer les origines des deux premiers axes confondues, et la troisième à l'intersection du deuxième axe et du troisième.
Les deux triangles $O_1M_1M_2$ et $O_3M_3M_2$ sont semblables, ce qui permet d'écrire, aux transformations d'unités sur chacun de ces axes près :

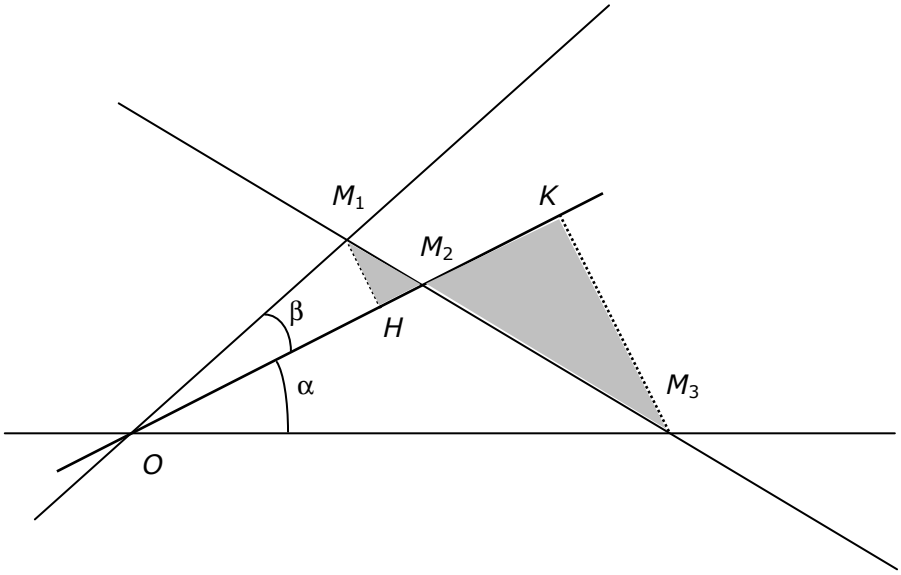
$$\frac{x_1}{x_3} = \frac{x_2}{O_1O_3 - x_2}$$

ce qui peut se ramener à

$$x_2 = \frac{ax_1}{bx_1 + cx_3}$$

L'annexe III permet de visualiser certains de ces abaques.

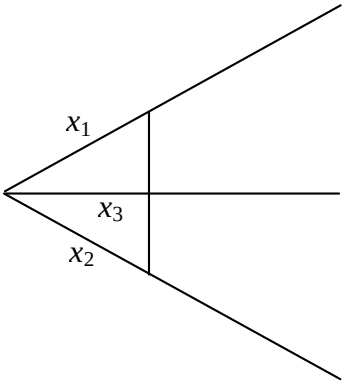
4) Considérons trois droites passant par un même point $O$, point origine des graduations sur ces droites ou pouvant s'y ramener.



Les triangles $M_3M_2H$ et $M_2KM_1$ sont semblables ce qui, avec les orientations considérées, permet d'obtenir la relation, avec des changements éventuels de graduation sur chacun de ces droites :

$$\frac{a}{x_1} + \frac{b}{x_2} = \frac{c}{x_3} \text{ où } a = \sin\alpha,\ b = \sin\beta \text{ et } c = \sin(\alpha + \beta)$$

l'annexe IV présente plusieurs de ces abaques




Remarque : c'est l'occasion ici de revenir à l'activité introductrice en faisant remarquer que pour $\alpha = \beta$, l'abaque traduit une formule du type

$$\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} = \frac{2\cos\alpha}{x_3}$$

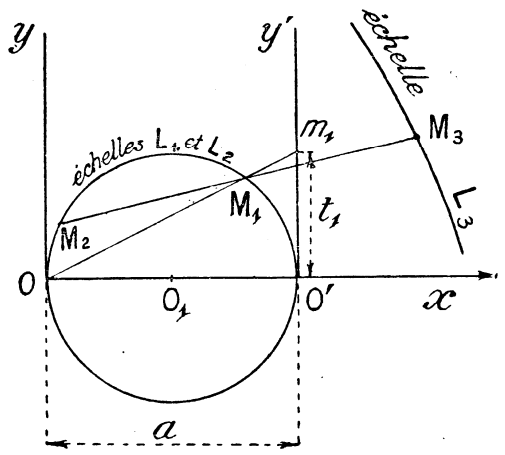
Si $x_1 = x_3$ représente la graduation sur les premier et troisième axes alors $x_3 = \cos\alpha$ et en prenant une graduation divisée par deux sur l'axe porté par la bissectrice, on a construit un abaque associé à la formule

$$\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} = \frac{1}{x_3}$$

5) De même, lorsque les trois droites se coupent deux à deux en trois points distincts, on construit ainsi un abaque en triangle qui permet d'interpréter toute formule du type $x_1x_2x_3 = k$ ou toute autre formule pouvant s'y ramener par des changements de coordonnées sur chacun des axes.

L'annexe V permet de présenter l'un de ces abaques.

6) Enfin, l'annexe VI présente d'autres types d'abaques dont des abaques circulaires.



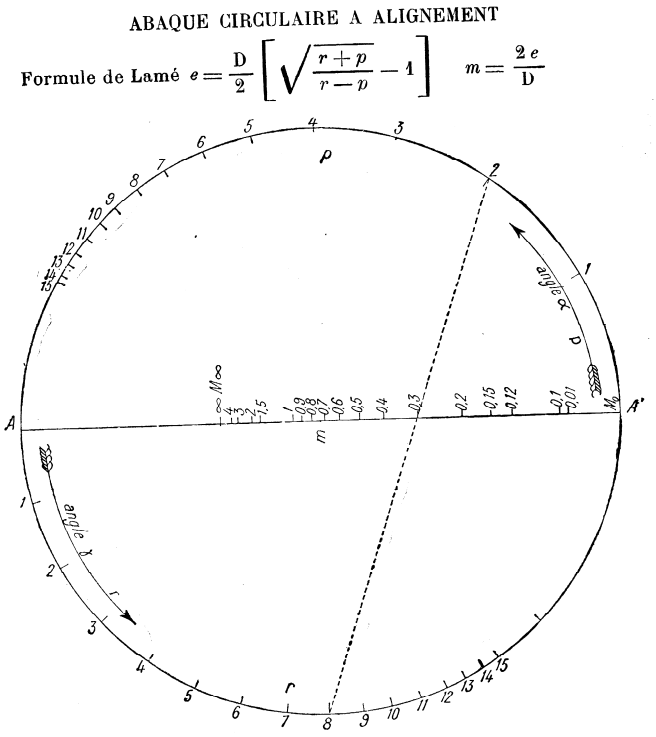

L'origine placée en $O$, on peut paramétriser les points du cercle par $x = \frac{a^3}{a^2 + t^2}$ et $y = \frac{a^2 t}{a^2 + t^2}$ où $a$ désigne le diamètre du cercle.

$M_3$, de coordonnées $(x_3;y_3)$ et repéré par une cote $x_3$ sur sa courbe, est sur la droite définie par les deux points $M_1$ et $M_2$.

La condition d'alignement de ces trois points permet de montrer que la condition satisfaite par cet abaque est du type :

$x_1x_2x_3 + a(x_1 + x_2) + b = 0$ ou toute autre formule permettant de s'y ramener.

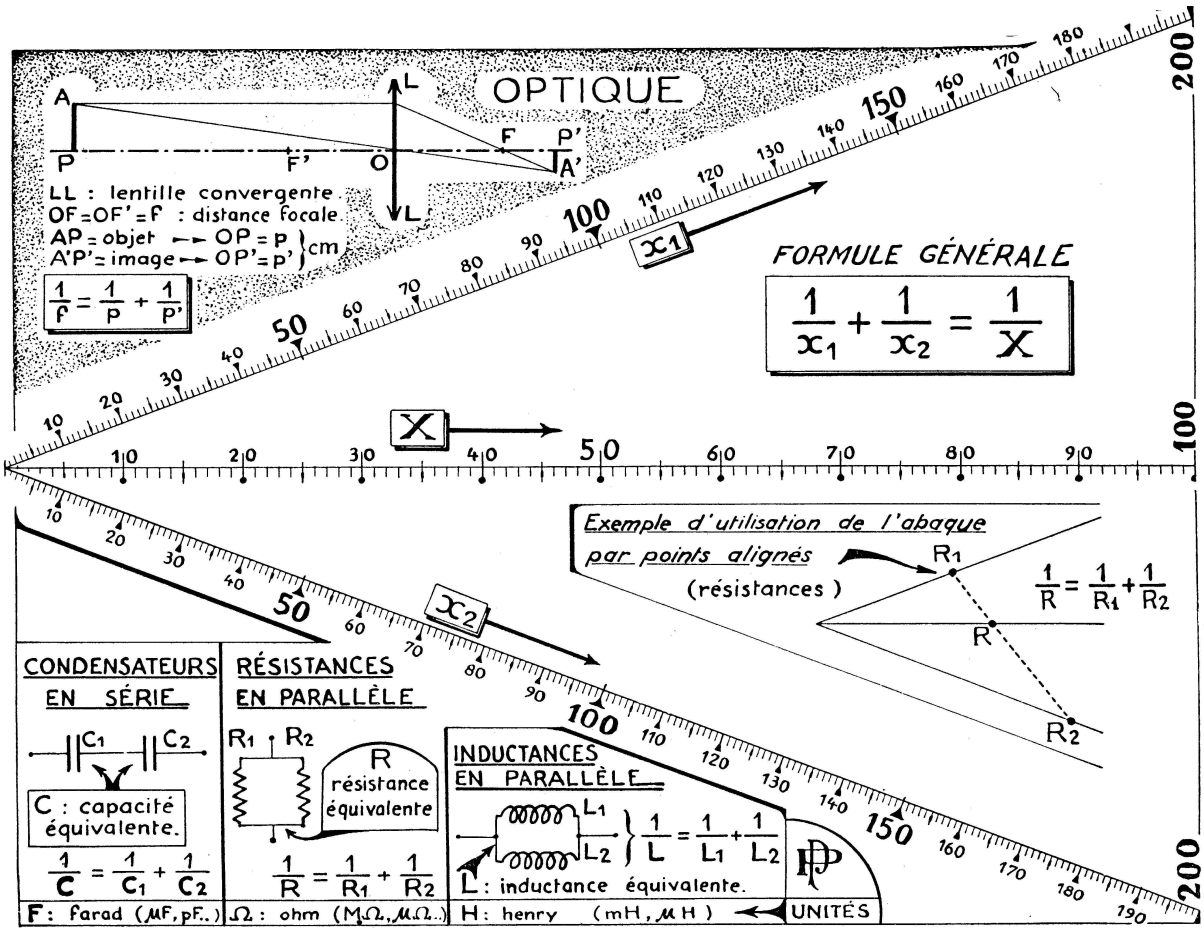
Lorsque le point $M_3$ décrit une droite, cette dernière relation peut se simplifier en $x_1x_2x_3 = c$




Alors que l'usage des abaques était répandu jusqu'aux années 1970, qu'en est-il aujourd'hui ?

On trouve encore de nombreux abaques dans les manuels d'enseignement, plusieurs exemples sont donnés en annexe (en mécanique pour les engrenages, en physique pour les propriétés des matériels, en chimie pour les propriétés des solides, liquides et gaz, …)

Par contre ma recherche dans les industries s'est révélée plus difficile. J'ai tout de même trouvé l'utilisation de ces abaques dans une usine de fabrication de pièces métalliques (différents contenants, de la bouteille de jus de fruits à des produits très spécifiques et dangereux). Si le directeur avoue ne plus utiliser ces abaques, les employés en disposent et certains d'entre eux restent en permanence fixés sur les machines-outils (de type fraisage).




Abaques employés dans une usine rouennaise de fabrication d'emballages métalliques. Ces abaques sont tirés de Les Nouveaux Documents du Dessinateur à l'usage de tous les élèves des Ecoles techniques et de tous les techniciens de l'industrie par Pierre Poignon, Editions Pierron Sarreguemines-Moselle.