



Primeiro Cimento artificial - 1818  
*Louis Joseph Vicat*

Prof. Eduardo C. S.  
Thomaz  
Notas de aula

## Primeiro Cimento artificial - 1818

- Em 1818 o químico francês L. J. VICAT apresentou à *Académie des Sciences de France* os resultados de seus estudos para a criação de um *cimento artificial* que ele usou na ponte sobre o Rio Dordogne, próximo à cidade de Souillac / França.
- A composição da mistura de calcário e argila ao entrar no forno já era semelhante à atual.
- A temperatura nos fornos de então, certamente, era mais baixa que a temperatura dos atuais fornos.
- Com isso, os teores dos componentes ( C3S, C2S, C3A, C4AF, etc... ) no produto final, o cimento, eram diferentes dos atuais teores.
- Além disso a finura dos cimentos prontos era diferente da dos atuais cimentos. Hoje são mais finos.
- A **QUÍMICA DO CIMENTO**, ficou, então, bem definida por VICAT em 1818.
- VICAT construiu com esse *cimento artificial* uma ponte sobre o Rio Dordogne, em arcos e sem armaduras. Ficou pronta em 1822. Está inteira.
- No artigo adiante: fotos atuais dessa ponte e os desenhos originais ( *croquis* ) feitos por VICAT.
- O uso de armaduras em pontes de concreto armado começou mais tarde, em 1875, na " *pont du château de Chazelet* ". Ver link abaixo:  
[http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/monier/monier\\_parte1.pdf](http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/monier/monier_parte1.pdf)
- Ao final do artigo, alguns comentários.

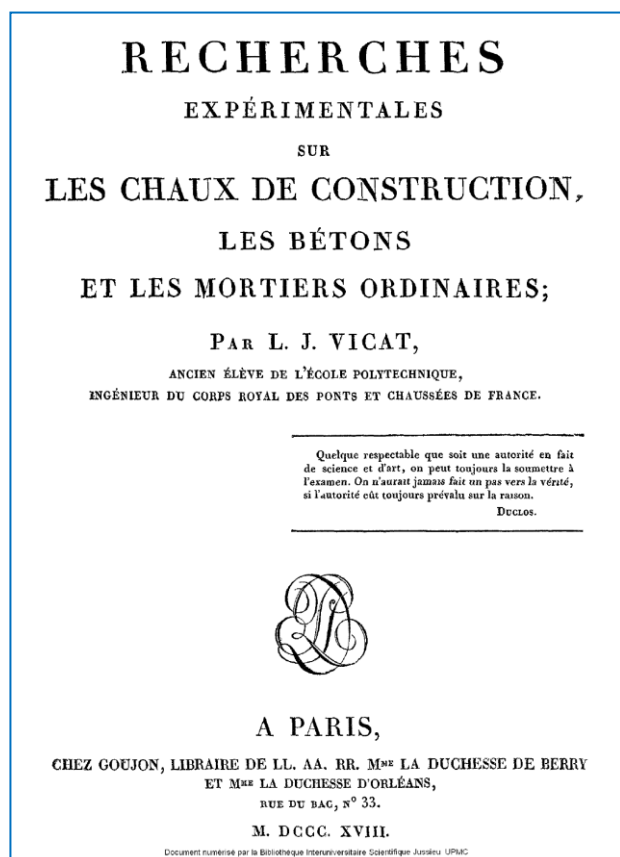
Eduardo Thomaz

## Louis Vicat, inventor of artificial cement

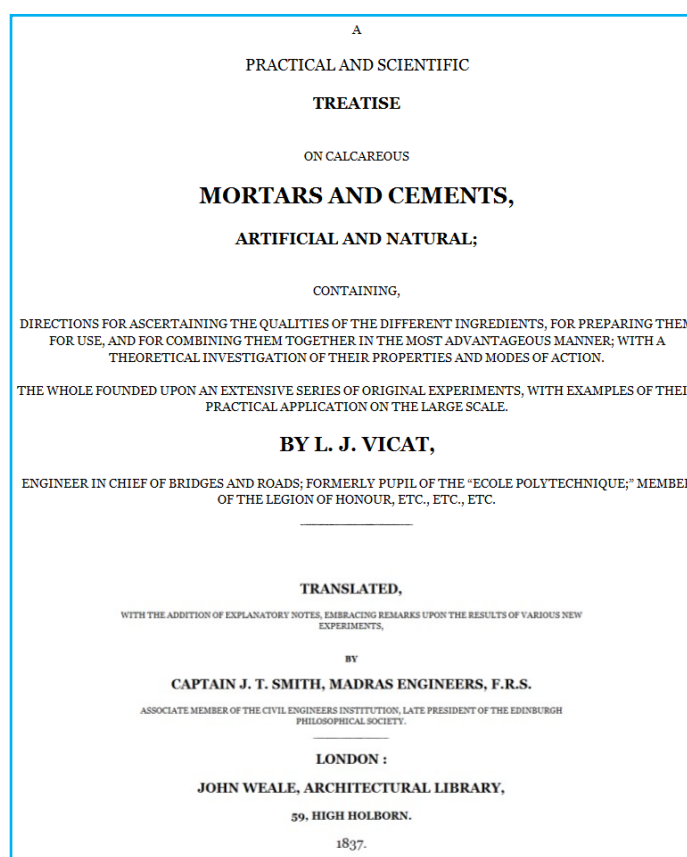
<http://www.beton-vicat.fr/>

<http://www.vicat.com/en/Vicat-Group/Introducing-the-Vicat-Group/Louis-Vicat-inventor-of-artificial-cement>

[https://ia600301.us.archive.org/28/items/recherchesexperi00vica/recherchesexperi00vica\\_bw.pdf](https://ia600301.us.archive.org/28/items/recherchesexperi00vica/recherchesexperi00vica_bw.pdf)



1818



1837

### Louis Vicat's great discovery



*" He revealed the causes, established the rules, and then ... created art. "*

**Louis Joseph Vicat**, as described by Baron Thénard, French chemist

Ver também os links abaixo para obter os *Google books* de VICAT:

1- [http://books.google.com.br/books?id=sdHIAAAMAAJ&pg=PA250&lg=PA250&dq=vicat+soullac+bridge&source=bl&ots=ttizxQ13AY&sig=JMhluQOFam62hVwvDE79B5eS\\_N48hl=pt-BR&sa=X&ei=2RjhU6balbTM:QTKIYGYaw&ved=0CE0GAEwBjge#v=onepage&q=vicat%20soullac%20bridge&f=false](http://books.google.com.br/books?id=sdHIAAAMAAJ&pg=PA250&lg=PA250&dq=vicat+soullac+bridge&source=bl&ots=ttizxQ13AY&sig=JMhluQOFam62hVwvDE79B5eS_N48hl=pt-BR&sa=X&ei=2RjhU6balbTM:QTKIYGYaw&ved=0CE0GAEwBjge#v=onepage&q=vicat%20soullac%20bridge&f=false)

2- [http://books.google.com.br/books/download/A\\_practical\\_and\\_scientific\\_treatise\\_on\\_c.pdf?id=sdHIAAAMAAJ&pg=BR&sa=X&ei=2RjhU6balbTM:QTKIYGYaw&ved=0CE0GAEwBjge#v=onepage&q=vicat%20soullac%20bridge&f=false](http://books.google.com.br/books/download/A_practical_and_scientific_treatise_on_c.pdf?id=sdHIAAAMAAJ&pg=BR&sa=X&ei=2RjhU6balbTM:QTKIYGYaw&ved=0CE0GAEwBjge#v=onepage&q=vicat%20soullac%20bridge&f=false)

## Louis Vicat's great discovery

After graduating from the prestigious École Polytechnique, and receiving an advanced engineering degree from the École nationale des ponts et chaussées, the "*National School of Bridges and Roads*", France's oldest civil engineering school, founded in 1747, Louis Vicat received a commission in **1812** to build a bridge over the Dordogne River.

The job was complicated by the exceptionally rough waters of the Dordogne and its unstable riverbed.

*But, after careful experimentation, Louis Vicat discovered a material that would enable him to create a low-cost and solid bridge.*

*By mixing powdered lime with clay, he created an artificial cement that would set after being submerged in water for a several days.*

Barely 32 years old, Louis Joseph Vicat presented his work to the Academy of Sciences in **1818**, which officially validated the soundness of his artificial cement discovery.

The Souillac Bridge over the Dordogne River was successfully completed in **1822**, and was the first bridge to be built using artificial cement.

*Almost 200 years later, Louis Vicat's discovery is the foundation that the modern cement industry is built upon.*

### A universal gift

*" What shall Vicat's recompense be ... he who has alone achieved real progress in the practical science of construction? "* Balzac, *Le curé de village* , 1839.

Louis Vicat, who "preferred that fame and glory serve a useful purpose instead of making him wealthy," according to Baron Thénard, chose to give the world the benefits of his research without expecting financial gains.

Accordingly, he did not file a patent for his artificial cement invention.

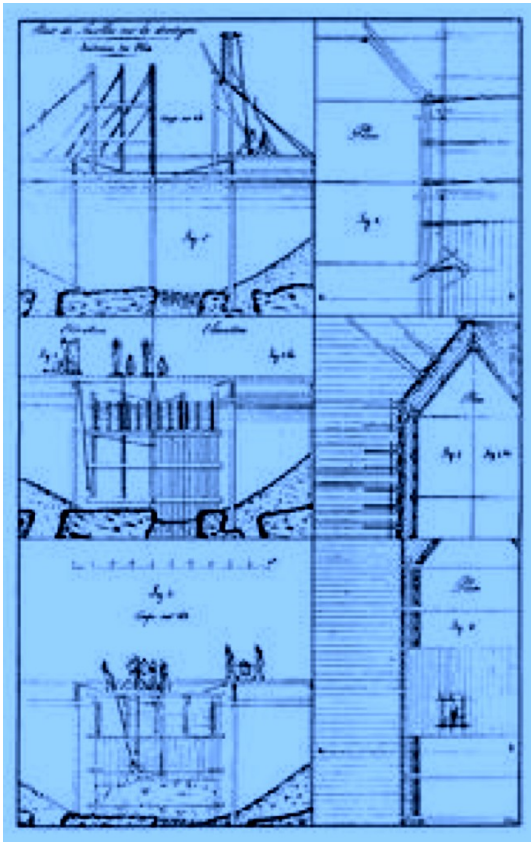
This enabled Joseph Aspdin, a British entrepreneur, to file a patent for a product based on the manufacturing method created by Vicat in 1818.

Aspin, later , in 1824, filed his patent and named the commercial product "Portland Cement."

<http://www.vicat.com/en/Vicat-Group/Introducing-the-Vicat-Group/Louis-Vicat-inventor-of-artificial-cement>

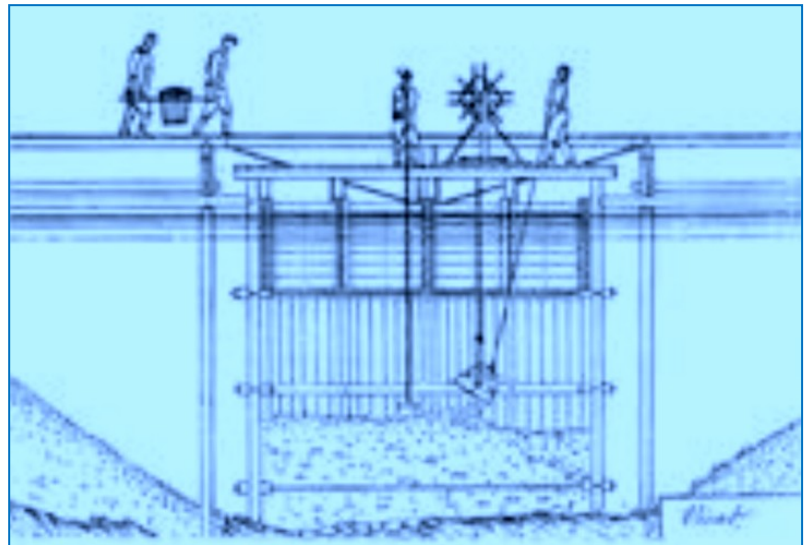
## Premier pont construit par l'inventeur du ciment artificiel, Louis Vicat .

Cidade : Souillac / França



1818 / 1822

Louis Vicat's drawings of Souillac Bridge



<http://www.vicat.com/en/Vicat-Group/Introducing-the-Vicat-Group/Louis-Vicat-inventor-of-artificial-cement>

O concreto das fundações pilones foi executado submerso, usando o cimento criado por VICAT que permitia esse tipo de execução.

No link abaixo é contado como foram os testes feitos com o novo cimento de VICAT até que fosse aprovada a utilização do novo cimento nas fundações da ponte de Souillac.

Ver também o link abaixo para baixar o *Google Book* sobre a *Vida e os Trabalhos de J. L. VICAT* :

[http://books.google.de/books?id=8D\\_FAAAMAAJ&pg=PA180&dq=Louis+Joseph+Vicat&hl=de&ei=OCTMjhAZGVopaHP4F&sa=X&oi=book\\_result&ct=result&resnum=4&ved=0CDUQ6AEwAzhG#v=onepage&q=Louis%20Joseph%20Vicat&f=false](http://books.google.de/books?id=8D_FAAAMAAJ&pg=PA180&dq=Louis+Joseph+Vicat&hl=de&ei=OCTMjhAZGVopaHP4F&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=4&ved=0CDUQ6AEwAzhG#v=onepage&q=Louis%20Joseph%20Vicat&f=false)

||

Vicat, toujours sur le chantier, plongeait sous l'eau plusieurs fois par jour, pour s'assurer que les pieux et les palplanches formant ses fameuses caisses sans fond reposaient bien sur le roc, et que celui-ci était partout à nu ; bien peu de pierres de taille étaient posées sans qu'il ne fût présent ;

||

Vicat, sempre presente no canteiro da obra, mergulhava sob a água várias vezes ao dia, para certificar-se de que as estacas que fixavam as formas e essas formas laterais, que formavam suas famosas caixas sem fundo, estavam bem apoiadas na rocha, e que essa rocha estava toda limpa; bem poucas pedras foram colocadas sem a presença dele.

The Souillac Bridge over the Dordogne River was successfully completed in **1822**, and was the first bridge to be built using artificial cement.



**Comprimento total é de 180m, com 7 vãos de 22m.  
A espessura do arco é de 1,20m ao longo de todo o arco.**



## Premier pont construit avec ciment artificiel



**Comprimento total 180m, com 7 vãos de 22m**  
**A estrutura não tem armaduras.**  
**É apenas concreto.**

## Premier pont construit avec ciment artificiel



**Comprimento total 180m, com 7 vãos de 22m**



A ponte concluída em 1822 está inteira em 2014.

**A estrutura não tem armaduras.**

**É apenas concreto.**

L.J.Vicat received a commission in **1812** to build a bridge over the **Dordogne** River.

<http://www.vicat.com/en/Vicat-Group/Introducing-the-Vicat-Group/Louis-Vicat-inventor-of-artificial-cement>



The Souillac Bridge over the Dordogne River was successfully completed in **1822**, and was the first bridge to be built using artificial cement.



Premier pont construit par l'inventeur du ciment artificiel , Louis Vicat .



The Souillac Bridge over the Dordogne River was successfully completed in 1822.

**A estrutura não tem armaduras. É apenas de concreto.  
A espessura do arco é de 1,20m ao longo de todo o arco.**

## Milestones in the life of Louis Joseph Vicat

**March 31, 1786:** Birth of *Louis-Joseph Vicat* in Nevers

**1804:** Louis Vicat enrolls at the Polytechnique and then at the Bridges and Roads Faculty

**1812-1822:** Louis Vicat builds the Souillac Bridge over the Dordogne

**1817:** Louis Vicat discovers artificial cement.

**1818:** Louis Vicat's discovery is identified by France's Academy of Sciences.

**1845:** A national award of 6,000 Francs is granted to Louis Vicat by the Government. The engineer offers his invention to the world without filing for a patent, and his peers believe they owe him a debt of gratitude.

**January 11, 1853:** Louis Vicat is appointed honorary Inspector General of Bridges and Roads. In the same year, his son, Joseph Vicat, establishes the Vicat Cement Company.

**1855:** Louis Vicat and his son build a bridge in Grenoble's Plant Garden, the world's first construction made of poured concrete.

**April 10, 1861:** Death of Louis Vicat in Grenoble.



Bridge in Grenoble's  
Plant Garden  
**É apenas concreto.**

## Comentários de Eduardo Thomaz :

*A composição química das matérias primas da mistura do cimento criado por L. J. Vicat de 1812 a 1818 já era semelhante à dos clínquers dos cimentos atuais*

### *Fabricação do Cimento Portland Atual*

Matérias primas

- **Calcário** :  $\approx 90\%$  da mistura

Componente básico do cimento fornecendo o Óxido de Cálcio.

- **Argila** :  $\approx 10\%$  da mistura

Componente usada para fornecer Silicatos de Alumínio e Ferro.

- **Areia** :

Usada para corrigir o teor de sílica  $\text{SiO}_2$  da argila.

- **Minério de ferro** :

Usado para corrigir o teor de óxido de ferro  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  da argila.

Exemplo de uma Composição Química das Matérias Primas usadas para fabricar um Cimento Portland atual ( % em peso )

	<b>Calcário</b> $\approx 90\%$ da mistura em peso $\text{CaCO}_3$	<b>Argila</b> $\approx 10\%$ da mistura em peso	<b>Areia</b> para corrigir o teor de $\text{SiO}_2$ da argila	<b>Minério de ferro</b> para corrigir o teor de $\text{Fe}_2\text{O}_3$ da argila
Ca O	51,29 %	0,70 %	0,63 %	2,09 %
Si O <sub>2</sub>	4,16 %	64,40 %	88,23 %	7,56 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,50 %	15,75 %	5,02 %	0,40 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,90 %	8,92 %	1,30 %	83,13 %
Mg O	0,36 %	0,80 %	0,11 %	0,43 %
K <sub>2</sub> O	---	2,79 %	2,66 %	0,08 %
Na <sub>2</sub> O	---	0,06 %	0,37 %	0,06 %
Perda ao fogo	41,00 % ↑ gás CO <sub>2</sub>	6,14 %	1,00 %	4,92 %

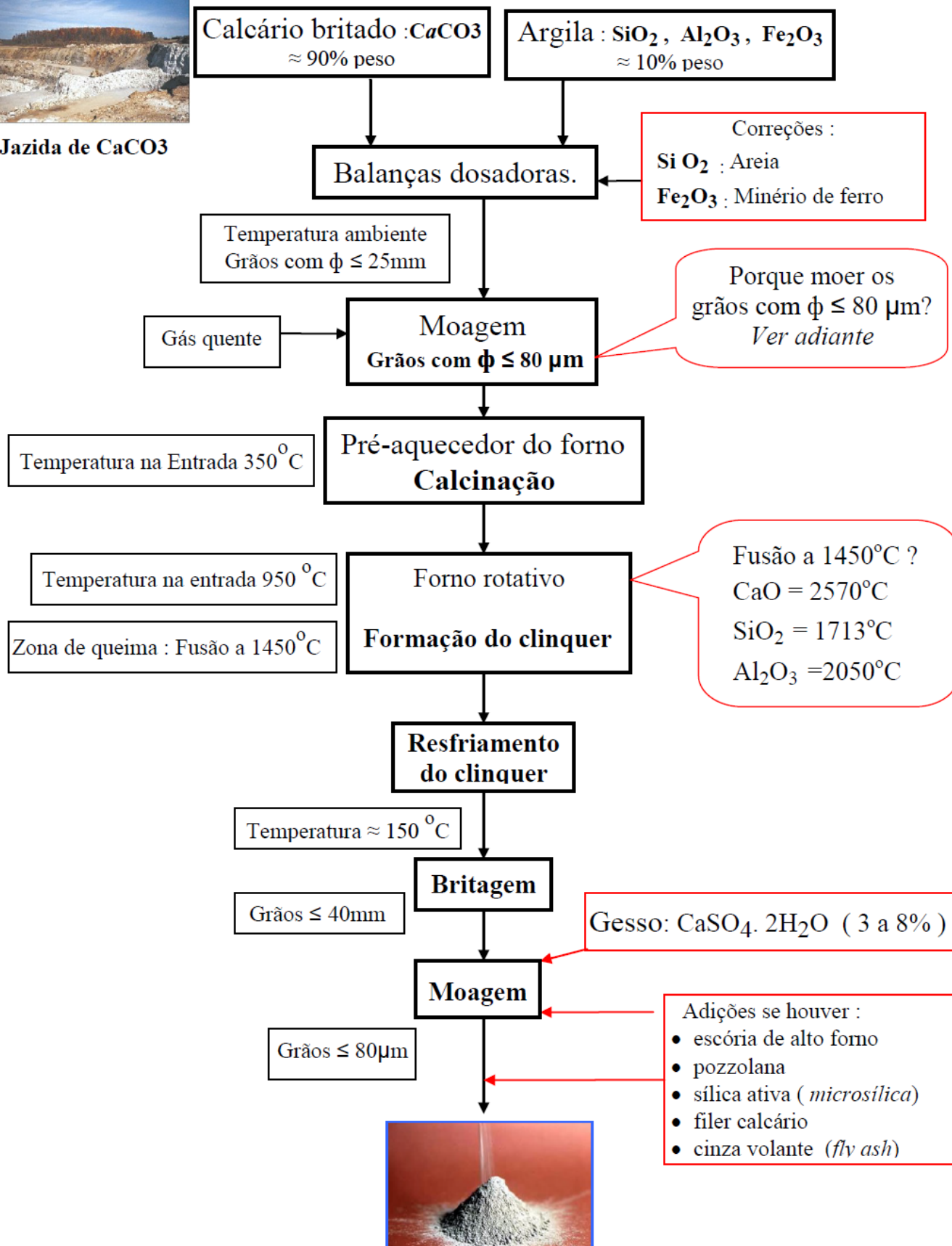
CaO / CaCO<sub>3</sub> = 56% ( em peso ) ; CO<sub>2</sub>/ CaCO<sub>3</sub> = 44 % ( em peso )

## Fabricação dos cimentos atuais.

[http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/cimentos\\_concretos/fab\\_cim\\_portland.pdf](http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/cimentos_concretos/fab_cim_portland.pdf)



Jazida de  $\text{CaCO}_3$



## Um pouco de História - 1818

- Vicat sugeria para uma *Cal Hidráulica Artificial* ( i.e. **Cimento Artificial** ) :

- “ Misturar (em peso) : 15 partes de argila + 140 partes de calcário”

- Isso correspondia a misturar em peso ( % ):

- “ 9,7 % argila + 90,3% calcário = 100% mistura”

*Observação:* Hoje em dia ( 2014) a mistura básica é idêntica. Ver [5] :

- 10 % argila + 90% calcário = 100% mistura .

- A fábrica de cal hidráulica artificial ( **cimento** ) , em Paris, usava,

no ano de **1818**, a seguinte mistura , em peso :

- 20 partes de argila + 140 partes de calcário + água + moagem ≡

- ( 12,5 % argila + 87,5 % de calcário ) + água + moagem → lama

- a moagem era feita em moinho semelhante aos moinhos onde se moia o trigo para fazer farinha.

- A lama era colocada a decantar e evaporar em grandes bacias escavadas no terreno, até adquirir uma consistência de pasta, que permitisse o seu manuseio.

- Eram preenchidos moldes com a pasta.

- Cada operário moldava 5000 moldes prismáticos, por dia, num total de 1,5 m<sup>3</sup> de mistura.

Cada prisma tinha 0,3 litros  $\approx$  7cm x 7cm x 7cm

- Os prismas eram colocados a secar ao ar livre, em prateleiras, e, depois de bem secos, eram colocados no forno para a calcinação.

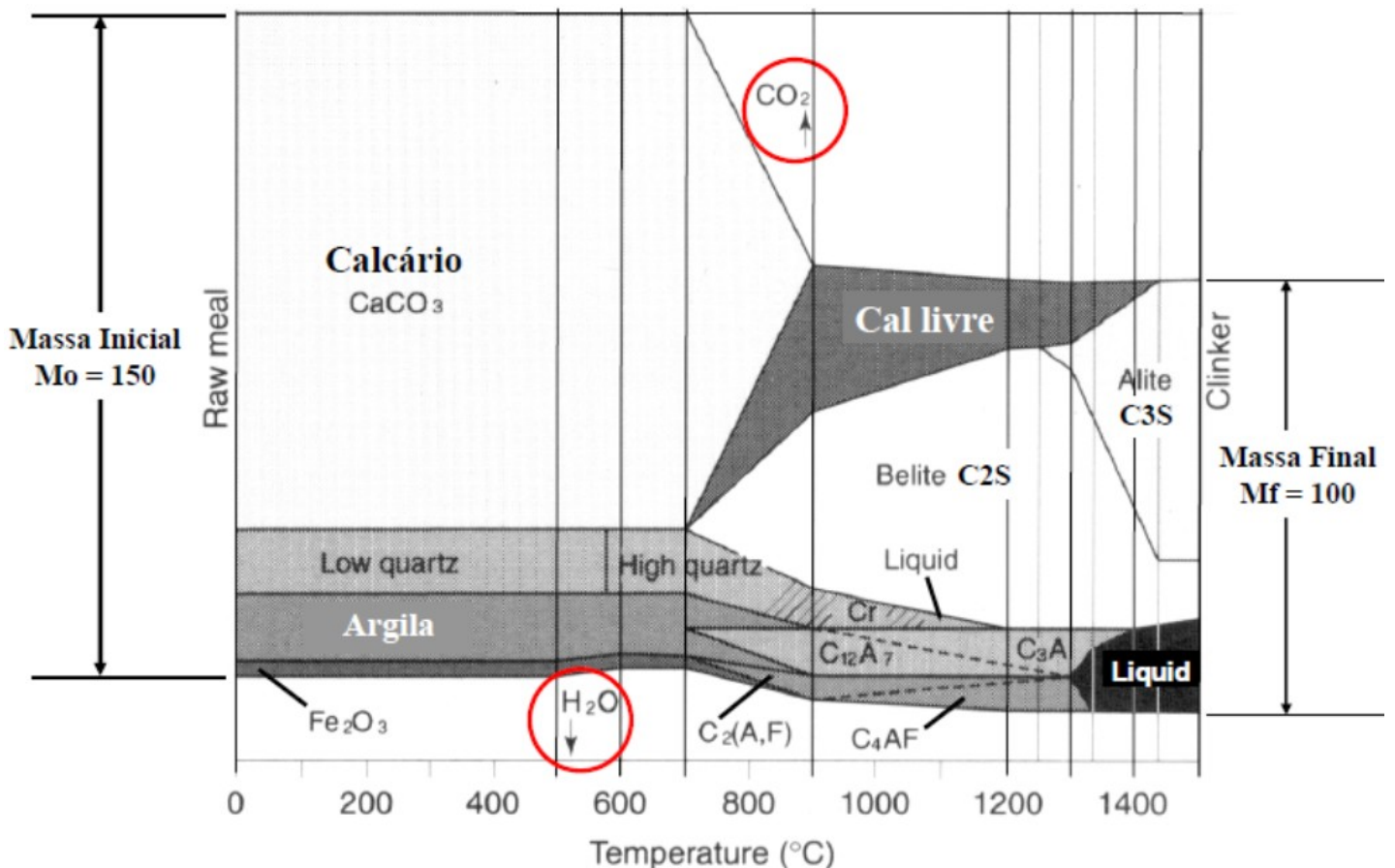
- Para a calcinação, em Paris ( 1818 ), era usada uma mistura de carvão vegetal com coque de carvão mineral.

- Os fornos eram primitivos. Ver as figuras adiante.

- Não se tem informação sobre a temperatura alcançada nesses fornos

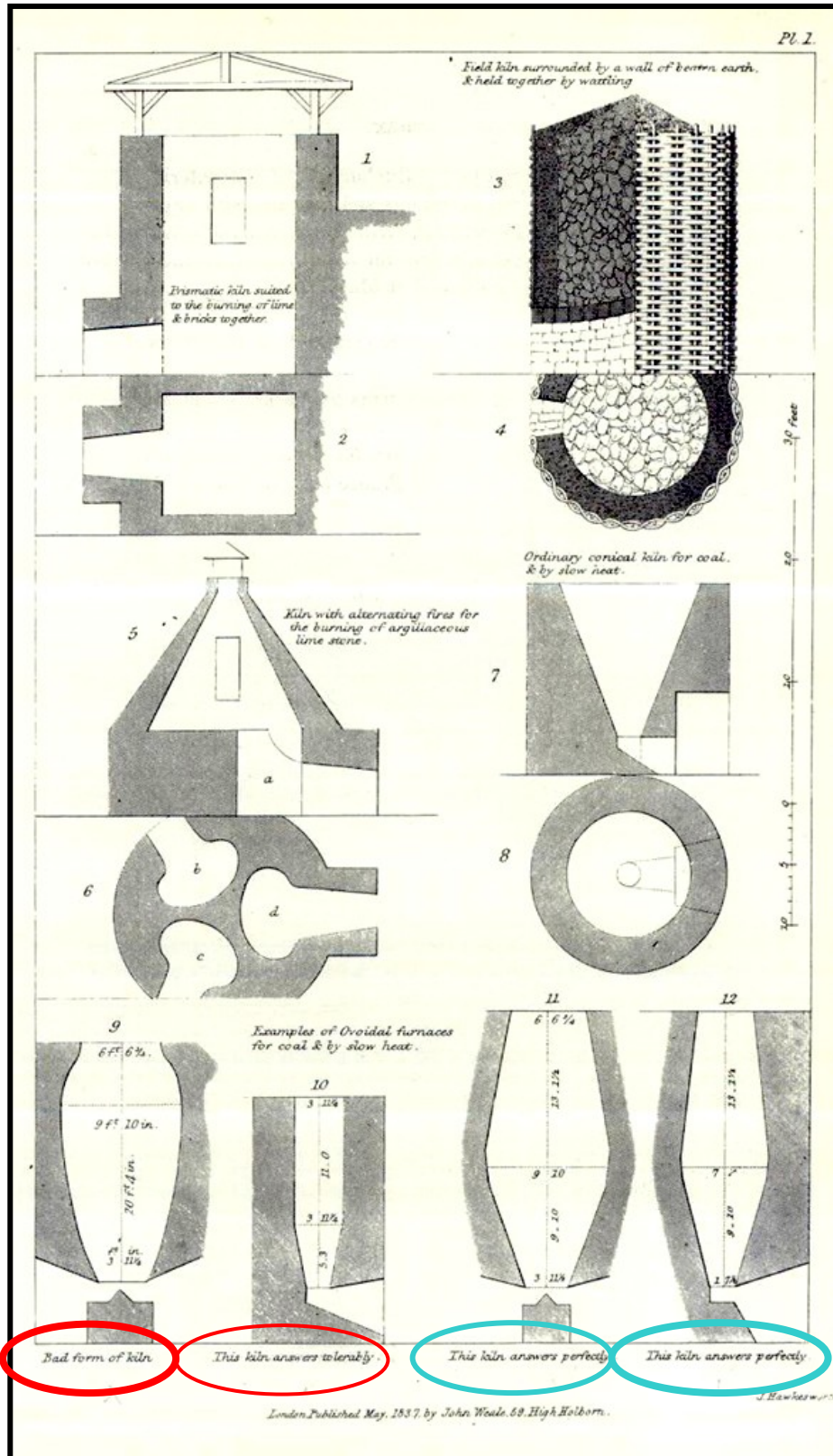
- *A composição química das matérias primas da mistura do cimento criado por L. J. Vicat de 1812 a 1818 era semelhante à dos clínquers dos cimentos atuais.*

- *As temperaturas nos fornos de então não deviam alcançar, no entanto, as temperaturas dos fornos atuais, e, em consequência, os teores dos componentes finais do cimento pronto ( C3S, C2S , C3A, C4AF e Cal livre ) eram diferentes dos teores atuais.*
- *Ver o gráfico adiante :*



- *Com temperaturas mais baixas que as atingidas hoje formava-se pouco C3S ( talvez nenhum) e o teor de cal livre permanecia alto.*
- *A finura dos cimentos atuais é maior que a finura dos primeiros cimentos. Os cimentos atuais sendo mais finos se hidratam mais rapidamente.*

## Um pouco de História - 1818



### Fornos utilizados nos primeiros cimentos – 1818 - [Ver Fotos Adiante](#)

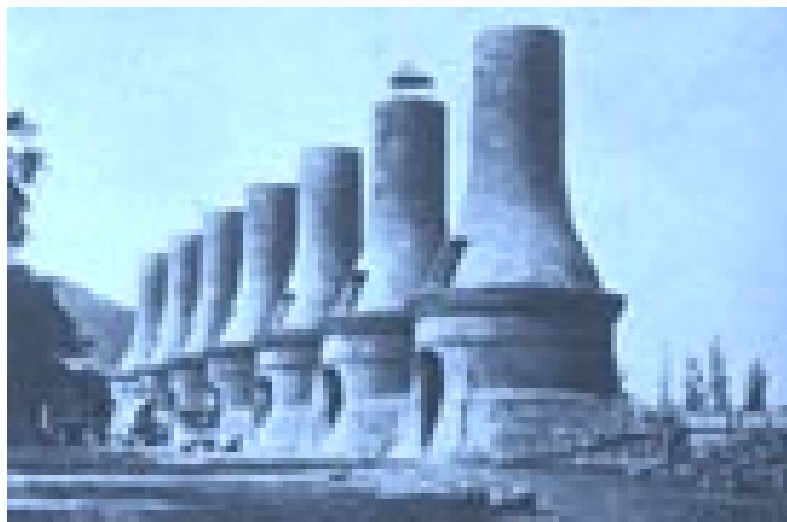
London Published , May 1837 by John Weale , 59, High Holborn

- L.J. Vicat - Mortiers et Ciments Calcaires – 1ª edição - 1818 , sendo que a 2ª edição era de 1837 – tradução para o inglês reeditada em 1997

## Tipo de forno usado por VICAT



<http://stephanerevel.free.fr/?tag=vicat>



<http://www.planete-tp.com/en/vicat-louis-a265.html>



## Composição do Clínquer dos Cimentos Portland

	Óxido	Abrevia- tura	Faixa de composição do Clínquer dos cimentos Portland atuais (%)	Exemplo de um cimento Portland atual (%)	Cais hidráulicas naturais de Vicat Anos : 1812 a 1818		
					Teor médio (%)	Cal com maior resis- tência	Cal com pega mais rápida
Cal	Ca O	C	59 a 67	64,9	(64,2)	68,7	51,0
Sílica	Si O <sub>2</sub>	S	16 a 26	20,7	(23,1)	18,3	36,8
Alumina	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	A	4 a 8	4,7	(10,8)	11,0	11,2
Ferro	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F	2 a 5	3,0	(1,9)	2,0	1,1
Alumina + Ferro	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		6 a 13	7,7	(12,7)	13,0	12,3
Magnésio	Mg O	M	0,8 a 6,5	1,9	(0,36)	0,0	
Potássio	K <sub>2</sub> O	K	0 a 1,5	0,55	(0,0)	0,0	
Sódio	Na <sub>2</sub> O	N	0 a 1,5	0,6	(0,0)	0,0	
	SO <sub>3</sub>	$\bar{S}$	0,5 a 1,2	2,5			

- *A composição química das matérias primas da mistura do cimento criado por L. J. Vicat de 1812 a 1818 já era semelhante à dos clínquers dos cimentos atuais.*

- **Componentes do Clínquer** ( composição em % de peso ) :

Segundo *Bogue, Robert Herman* , 1929, os componentes do clínquer podem ser estimados pelas fórmulas.

$$C_3S = 4,071 \cdot CaO - 7,600 \cdot SiO_2 - 6,718 \cdot Al_2O_3 - 1,430 \cdot Fe_2O_3 - 2,852 \cdot SO_3$$

$$C_2S = 2,867 \cdot SiO_2 - 0,7544 \cdot C_3S$$

$$C_3A = 2,650 \cdot Al_2O_3 - 1,692 \cdot Fe_2O_3$$

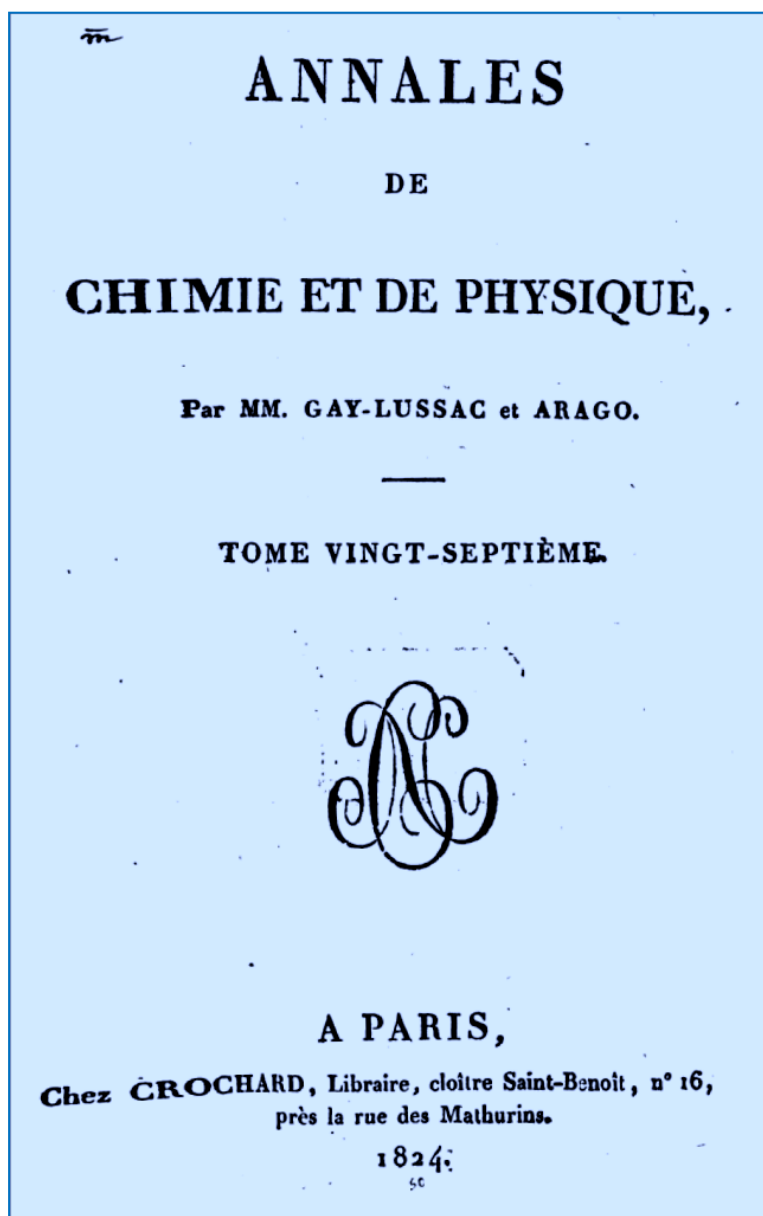
$$C_4AF = 3,043 \cdot Fe_2O_3$$

Essas fórmulas ainda são as adotadas pela Norma ASTM C 150-1994.

$$C = CaO , A = Al_2O_3 , S = SiO_2 , H = H_2O , F = Fe_2O_3 , \bar{S} = SO_3$$

## ANEXO 01

**Fissuras observadas por L.J.VICAT em  
dois parapeitos da ponte em Souillac.**



Ver os 4 links abaixo :

[https://www.google.com.br/search?hl=pt-BR&q=chimie+physique+1824+mouvement+periodique+vicat&gs\\_l=cs&rl=ss&hl=pt-BR&q=chimie+physique++note+mouvement+periodique+&thm=bls](https://www.google.com.br/search?hl=pt-BR&q=chimie+physique+1824+mouvement+periodique+vicat&gs_l=cs&rl=ss&hl=pt-BR&q=chimie+physique++note+mouvement+periodique+&thm=bls)

<http://books.google.com.br/books?id=1J55AAAAMAAQ&pg=PA78&dq=chimie+physique+1824+mouvement+periodique+vicat&hl=pt-BR&sa=X&ei=9yulSPMYvKt0StA7DzBn&red=RCOD8AFwAD0=&ascpag&q=chimie+physique+1824+mouvement+periodique+2thm=bls&f=false>

<http://books.google.com.br/books?id=1J55AAAAMAAQ&pg=PA78&dq=chimie+physique+1824+mouvement+periodique+vicat&hl=pt-BR&sa=X&ei=9yulSPMYvKt0StA7DzBn&red=RCOD8AFwAD0=&ascpag&q=chimie+physique+1824+mouvement+periodique+2thm=bls&f=false>

*NOTE sur un Mouvement périodique observé aux  
voûtes du pont de Souillac.*

PAR M. VICAT.

...

. Afin de livrer passage au public au 1<sup>er</sup> janvier 1824, on a dû poser les plinthes et parapets presque immédiatement après le décintrement des deux dernières voûtes, et cette opération a été terminée vers le 15 décembre 1823, avant les premières gelées, qui, cette année, ne sont arrivées que fort tard dans le département du Lot : or, comme le tassement des voûtes, en général, ne se termine pas brusquement après l'enlèvement des cintres, mais continue encore, par degrés insensibles, pendant plusieurs mois, il était présumable que, pour obéir à ce mouvement, les pierres des parapets se disjoindraient, à l'aplomb des naissances de chacune des deux voûtes récemment décintrées. La disjonction a eu lieu en effet, non pas insensiblement comme on s'y attendait, mais presque tout-à-coup, et précisément pendant les fortes gelées de février 1824, plus d'un mois après la pose desdits parapets : chose surprenante, le même accident s'est fait remarquer à l'aplomb des naissances des autres voûtes, dont trois cependant se soutenaient sans cintre depuis plus d'un an.

Il a bien fallu renoncer alors à considérer comme cause unique de ces accidens la suite du tassement naturel ou spontané : ma première idée a été d'imaginer qu'indépendamment de l'affaissement qui résulte de leur propre poids, les voûtes en éprouvaient un second au moment où elles ressentent les premières vibrations dues au roulage des voitures pesamment chargées. Curieux de mesurer les progrès de ces nouveaux mouvemens (présumés), j'ai fermé bien exactement avec du mastic

bouillant (1) une étendue d'environ 0<sup>m</sup>,02 centim. de chacun des joints entr'ouverts : rien n'a bougé pendant la durée des gelées ; mais sur la fin de février, après quelques jours assez chauds pour la saison, je m'aperçus, non sans surprise, que les pierres éclataient sur l'arête aux endroits mastiqués ; cependant l'œil ne pouvait apprécier encore aucun mouvement rétrograde ; et d'un autre côté, il n'était pas présumable que le mastic posé à chaud, dans le plus grand état de dilatation possible, se fût gonflé après coup : la température ayant continué à s'élever pendant quelques jours, tous les doutes furent dissipés, car les joints se resserrèrent tous d'une manière très-sensible ; et enfin, la périodicité du mouvement est devenue incontestable, depuis qu'un second écartement suivi d'un second resserrement s'est manifesté.

En résumé, il y a eu :

1°. En février, pour un froid moyen de — 7° centig., *écartement*.

2°. Sur la fin du même mois, pour une chaleur de 20° au soleil, à deux heures, *resserrement*.

3°. Du 3 au 6 mars, pour un froid moyen de — 5°, *écartement*.

4°. Du 10 au 15 avril, pour une chaleur de 20 degrés au soleil, à deux heures, *resserrement*.

• • •

Une des conséquences les plus évidentes de ce qui précède est que les grandes voûtes exposées à toutes les intempéries ne sont jamais en équilibre. Je laisse aux savans qui se sont particulièrement occupés des conditions de cet équilibre, à discuter l'influence perturbatrice des mouvemens dont je viens de constater la réalité; je me borne à faire remarquer que ces mouvemens s'étant également prononcés sur des voûtes construites depuis plus d'un an, et sur d'autres construites depuis moins de deux mois, le ressort thermométrique des pierres, si je puis m'exprimer ainsi, ne paraît point s'affaiblir avec le temps.

Le 27 avril 1824.

...

*Tradução literal* : Fissuras observadas por VICAT em dois parapeitos da ponte em Souillac.

" Afim de abrir passagem ao público em 01/janeiro/1824, tivemos que executar os passeios laterais e os parapeitos quase que imediatamente após o descimbramento dos dois últimos vãos, e esta operação terminou lá pelo dia 15/dezembro/1823, antes das primeiras geadas, que nesse ano, só chegaram muito tarde na região de Lot.

Como a deformação vertical ( flecha) dos arcos, em geral não termina bruscamente após a retirada dos escoramentos, mas continua ainda, com velocidades imperceptíveis, durante vários meses, era presumível que, para obedecer a esse movimento, as pedras dos parapeitos se separassem, fissurassem, na prumada das nascenças de cada um dos dois arcos recentemente descimbrados. ( *Aqui VICAT mostra já ter percebido a existência da deformação lenta, a chamada fluência, do concreto.* )

*Essa separação de fato ocorreu, de modo não imperceptivelmente lento como se esperava, mas quase que de repente, e exatamente durante as fortes geadas de fevereiro/1824, mais de um mês após a execução dos citados parapeitos.*

*E como um fato surpreendente, o mesmo se observou também nas prumadas das nascenças dos outros arcos, dos quais três já estavam sem escoramento há mais de um ano.*

*Tivemos que abandonar a ideia de considerar como causa única desses fenômenos a deformação natural e espontânea. ( **Inclusive a deformação lenta** )*

*A minha primeira ideia foi imaginar que além da deformação que resulta de seu próprio peso, os arcos teriam sofrido uma outra deformação, no momento em que eles sofreram as primeiras vibrações devidas à passagem de veículos muito carregados.*

*Estando eu curioso de medir o progresso desses novos movimentos presumidos , eu enchi bem, com mastique derretido, um trecho de 2cm em cada uma das juntas entreabertas ( fissuras).*

*Nada se moveu durante as geadas, mas no final de fevereiro , após alguns dias muito quentes para a estação, eu percebi, para minha surpresa, que as pedras **explodiam** nas arestas ao redor do mastique ; mas a olho nu não se conseguia observar nenhum movimento de fechamento dessas fissuras ;*

*Por outro lado não era presumível que o mastique , colocado a quente, no estado de maior dilatação possível, fosse se dilatar depois.*

*A temperatura tendo continuado a se elevar durante vários dias, todas as dúvidas foram dissipadas, porque as juntas se fecharam todas, de um modo bem nítido.*

*Enfim a periodicidade tornou-se incontestável, depois que se manifestou uma segunda abertura, seguida de um segundo fechamento.*

*Em resumo, tivemos :*

1. *Em fevereiro, para um frio médio de -7 graus centígrados = ABERTURA*
2. *No fim do mesmo mês de fevereiro, para um calor de +20graus centígrados ao sol , às 14 horas = FECHAMENTO*
3. *De 3 a 6 de março, para um frio médio de -5graus centígrados = ABERTURA*
4. *De 10 A 15 de abril , para um calor de + 20 graus centígrados ao sol, às 14 horas = FECHAMENTO*

...

*Uma das consequências mais evidentes do que precede é que os grandes arcos, expostos a todas as intempéries, nunca estão em equilíbrio.*

*Deixo aos especialistas, que se ocupam particularmente dessas condições de equilíbrio, a análise da influência perturbadora desses movimentos cuja existência constatei.*

*Eu me limito a assinalar que esses movimentos são tão intensos nos arcos construídos há mais de um ano, quanto nos arcos construídos há menos de dois meses .*

*A mola termométrica das pedras, se é que posso me expressar assim, não parece enfraquecer com o tempo. 27/abril/1824 - L. J. VICAT*

”

### **Comentário :**

Quando ocorria uma queda da temperatura, L.J.VICAT observava que os parapeitos da ponte, feitos de pedra argamassada, fissuravam nos pontos situados nas prumadas das nascenças dos arcos.

No verão as fissuras fechavam. No inverno, as fissuras reabriam.

**VICAT identificou, assim, pela primeira vez , a movimentação térmica das estruturas de concreto.**

**Já observara também a deformação lenta ( fluência) do concreto.**

Já era, então, necessário fazer reparos periódicos nesses parapeitos.

A ponte ainda hoje é mantida sem armadura nos parapeitos.

Ver reparos no filme do link : <https://www.youtube.com/watch?v=ilftxi90v60>





## ANEXO 02

Ver o link abaixo para baixar o Google book sobre a Vida e os Trabalhos de J. L. VICAT :

[http://books.google.de/books?id=8D\\_FAAAAMAAI&pg=PA180&dq=Louis+Joseph+Vicat&hl=de&ei=aOCxTMjHAGVQpahhP4F&sa=X&oi=book\\_result&ct=result&resnum=4&ved=0CDUQ6AEwAshGivonepage&q=Louis%20Joseph%20Vicat&fr=false](http://books.google.de/books?id=8D_FAAAAMAAI&pg=PA180&dq=Louis+Joseph+Vicat&hl=de&ei=aOCxTMjHAGVQpahhP4F&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=4&ved=0CDUQ6AEwAshGivonepage&q=Louis%20Joseph%20Vicat&fr=false)

