

# MODÉLISATION D'UN FOUR À CARBONISATION POUR LA PRODUCTION DU CHARBON À PARTIR DES DÉCHETS VÉGÉTAUX ET MÉNAGERS

Numéro d'inscription SCEI :30283

# Plan de Travail

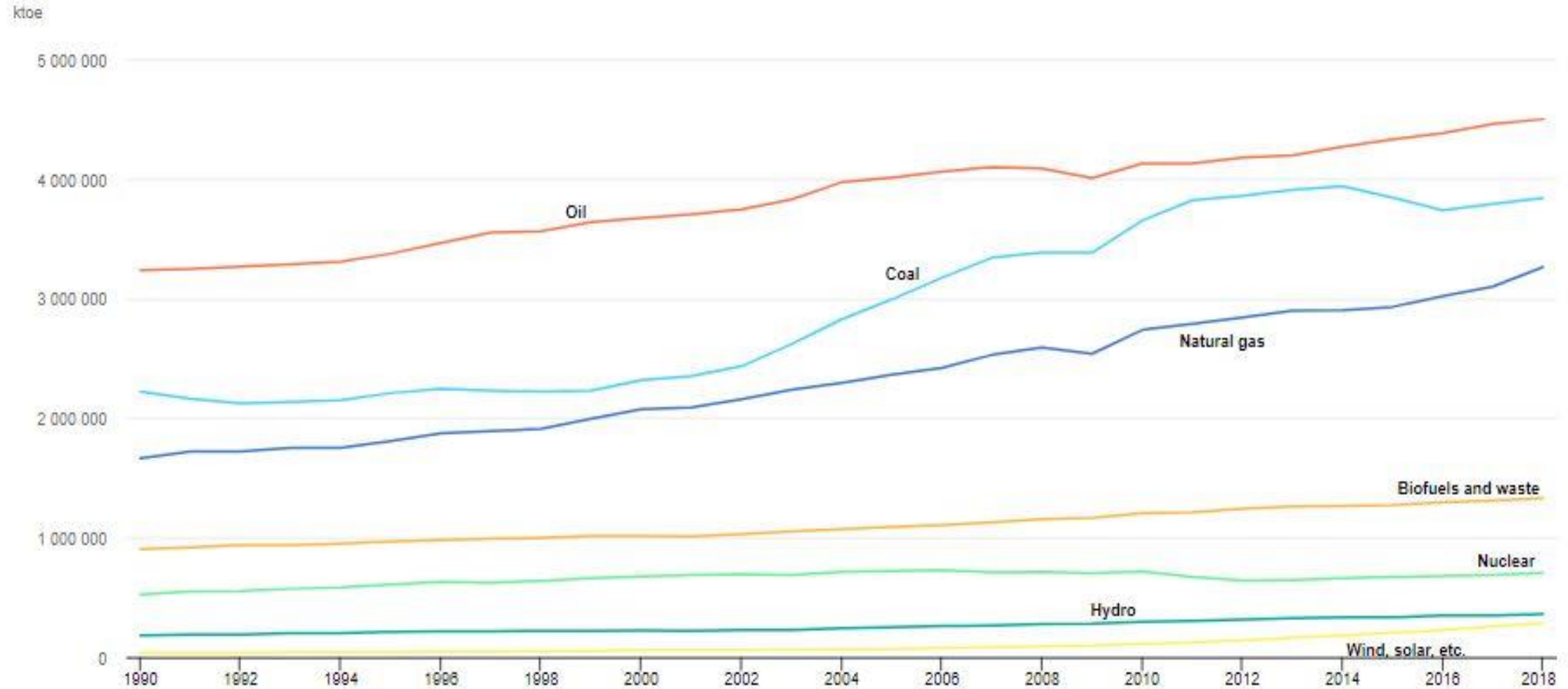
- Introduction
- Energie et développement durable
- Production du charbon
- Modélisation d'un four cornue (carbonisateur )
- Méthode de résolution du système dynamique (SLIT)
- Résultats et discussions
- Conclusion

# Introduction

- A jeune âge ,on suscitait ma curiosité en regardant des films classiques ou des dessins animés où l'utilisation progressive du charbon pour faire fonctionner de différents systèmes techniques. Grande fut ma surprise, lorsque je viens de découvrir qu'il aie été un élément fondamental de la première révolution industrielle. Je me suis intéressé, alors , dans mon TIPE à contempler la carbonisation d'un point de vue de l'ingénierie.

# Energie et Développement durable

Total energy supply (TES) by source, World 1990-2018



D'après AIE

# Energie et développement durable

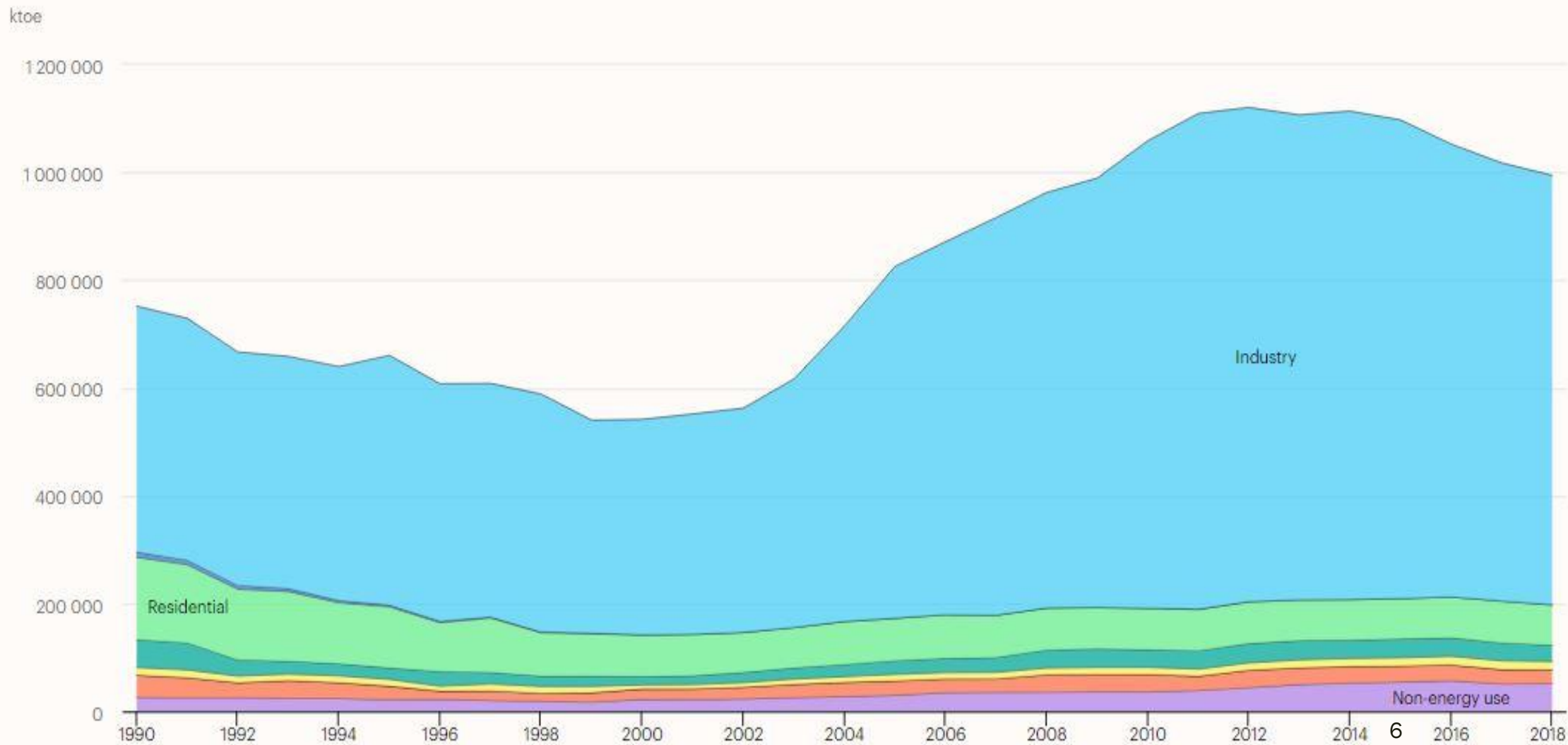
	Municipal waste	Industrial waste	Primary solid biofuels	Biogases	Liquid biofuels	Geothermal	Solar thermal	Hydro	Solar PV	Tide, wave, ocean	Wind
	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh
Gross elec. generation	76 472	42 301	421 131	88 986	8 349	88 956	11 321	4 325 111	554 382	1 005	1273 409
	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ				
Gross heat production	296 165	181 501	589 111	46 514	5 683	44 411	2 270				
	TJ-net	TJ-net	TJ-net	TJ-net	kt	TJ	TJ				
Production	1418 578	1133 398	47 460 107	1 364 612	126 005	3 857 558	1518 178				
Imports	36 206	3 102	484 830		19 281						
Exports	-3 224		-293 244		-20 738						
Stock changes	-123	-1 773	-13 485	58	-1 196						
Domestic supply	1451 437	1134 726	47 638 209	1 364 670	123 353	3 857 558	1518 178				
Statistical differences and transfers	-288	1 262	-43 913	-291	-303	-1 770					
Transformation	1292 313	671 722	11 189 598	862 046	2 288	3 207 645	142 554				
Electricity plants	634 564	397 577	4 132 759	466 356	1 577	3 039 933	140 273				
CHP plants	580 220	152 892	1 593 399	361 637	623	120 800					
Heat plants	77 529	116 741	316 985	5 950	88	46 911	2 281				
Other transformation		4 512	514 655	28 103							
Energy industry own use	1 486	6 974	604 753	27 551	152	13	112				
Losses	10	3	45	4 082	5	481					
Final consumption	157 340	457 289	35 887 725	470 701	120 605	647 649	1 375 512				
Industry	89 696	406 059	7 789 839	57 869	1 671	25 696	17 087				
Transport			6	7 281	116 500						
Residential			26 586 783	328 568	756	355 111	1 109 151				
Commercial and public	67 622	27 517	1 040 688	38 958	413	162 801	199 223				

*D'après AIE*

# Production du charbon

Coal final consumption by sector, World 1990-2018

D'après AIE



# Production du charbon

D'après Doc 3

**TABLE 4**  
**Properties of MSW compost and charcoal**

<i>Parameter</i>	<i>Decomposed MSW Compost</i>	<i>Charcoal</i>
Moisture content (%)	18.43	0.18
Volatile matter (%)	39.93	10.54
Ash (%)	38.38	89.04
Fixed carbon (%)	3	0.24
pH	7.63	9.93
Temperature °C	22.9	19.5
Electrical Conductivity(μs)	6.95	7.33
Salinity %	3.73	3.86
Bulk density (kg/m <sup>3</sup> )	422.02	928.28



# Modélisation d'un four cornu(Carbonisateur)

D'après Doc3

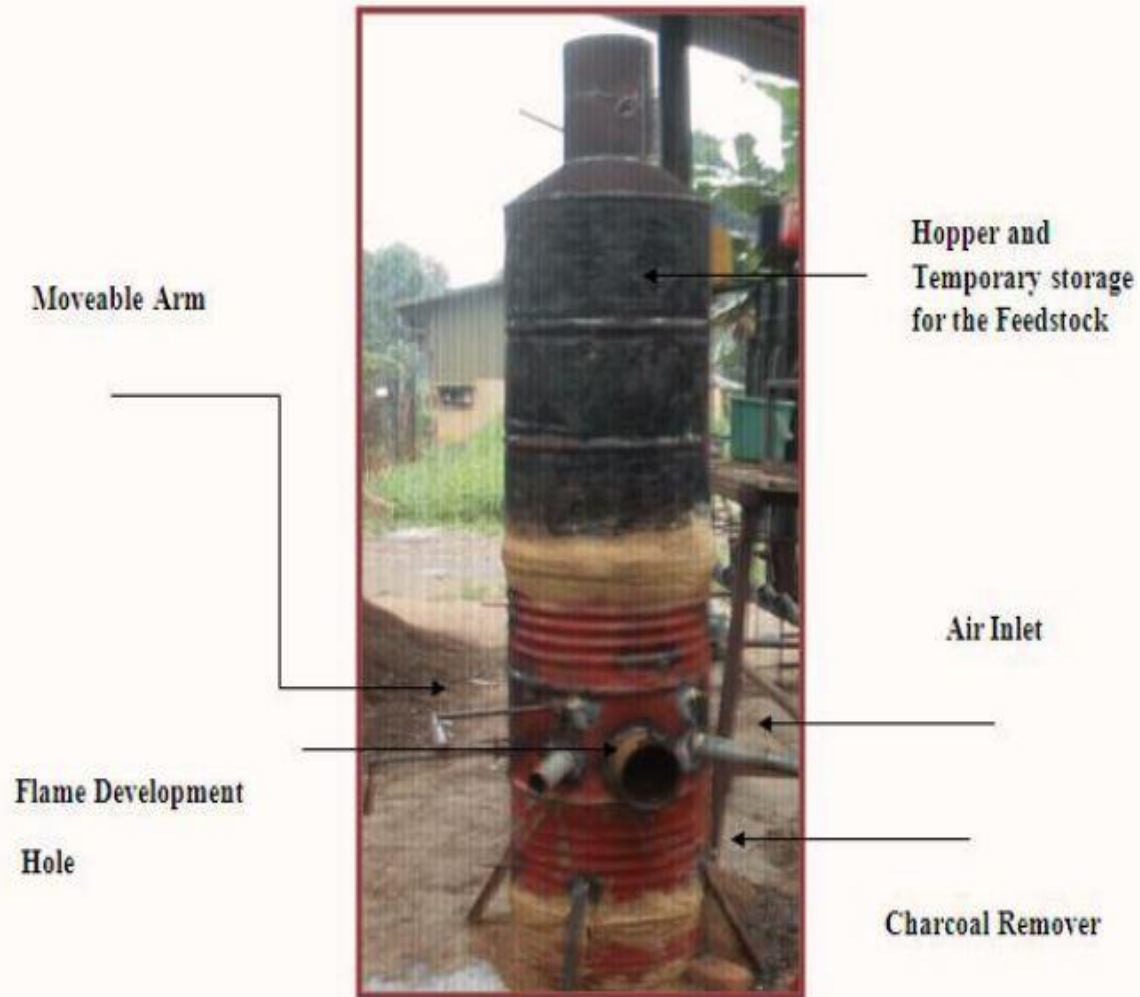
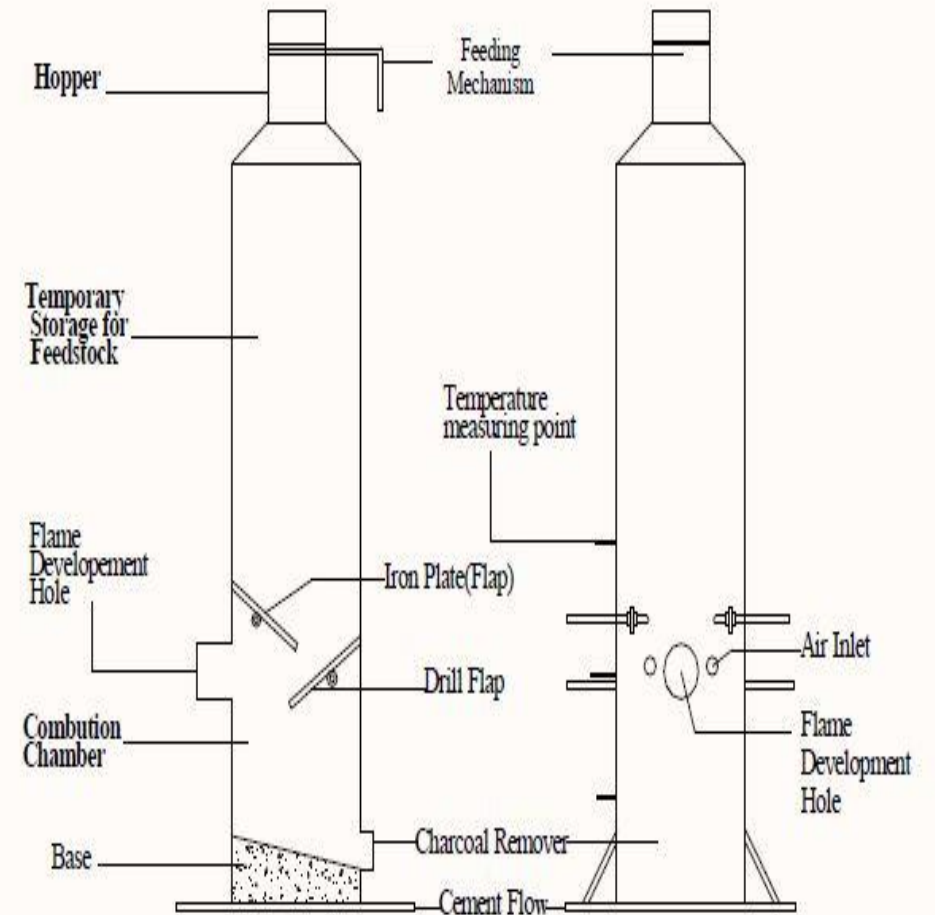


PLATE 1  
Pyrolyser



Cross Sectional View

Front View



# Modélisation d'un four cornue(Carbonisateur)

Mise en équation le système dynamique par l'application du premier principe de la thermodynamique

**Première équation :**

$$\delta m \frac{dU_{metal}}{dt} = P_{th} - P_{rayonné} - P_{déchet} - P_{air\ ambient} - P_{diffusé}$$

**Deuxième équation :**

$$\frac{dU_{car}}{dt} = \alpha P_{th} - P_{rayonnée} - P_{cc\ intérieur} - P_{déchet}$$

**Troisième équation :**

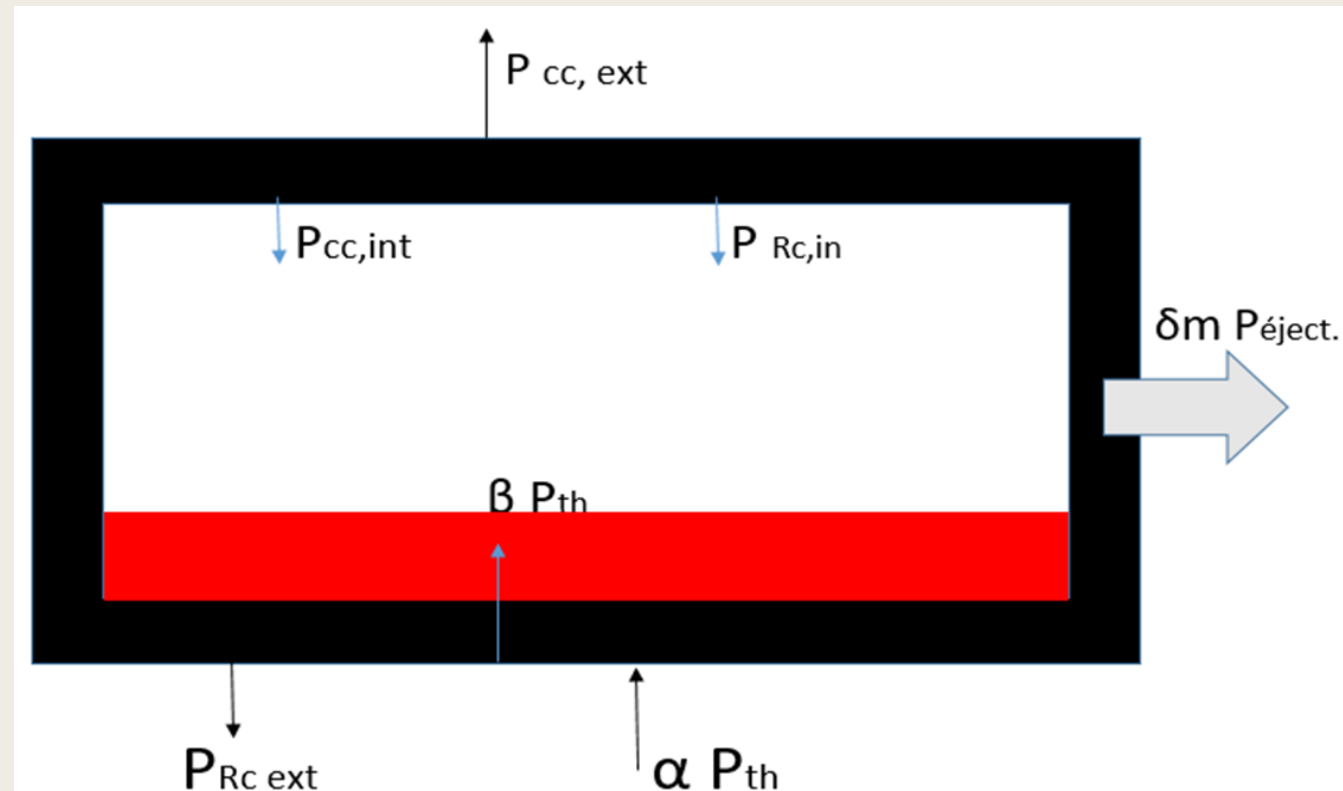
$$M(t) \frac{dU_{déchet}}{dt} = P_{déchet} - P_{ray, dech} - P_{cc\ dech, air} - \delta m P_{gaz}$$

**Quatrième équation :**

$$\frac{dU_{air}}{dt} = P_{ray, déchet} + P_{ccdéchet} + P_{ccmétal} - Dm \Delta H_{gaz}$$

# Modélisation d'un four cornue

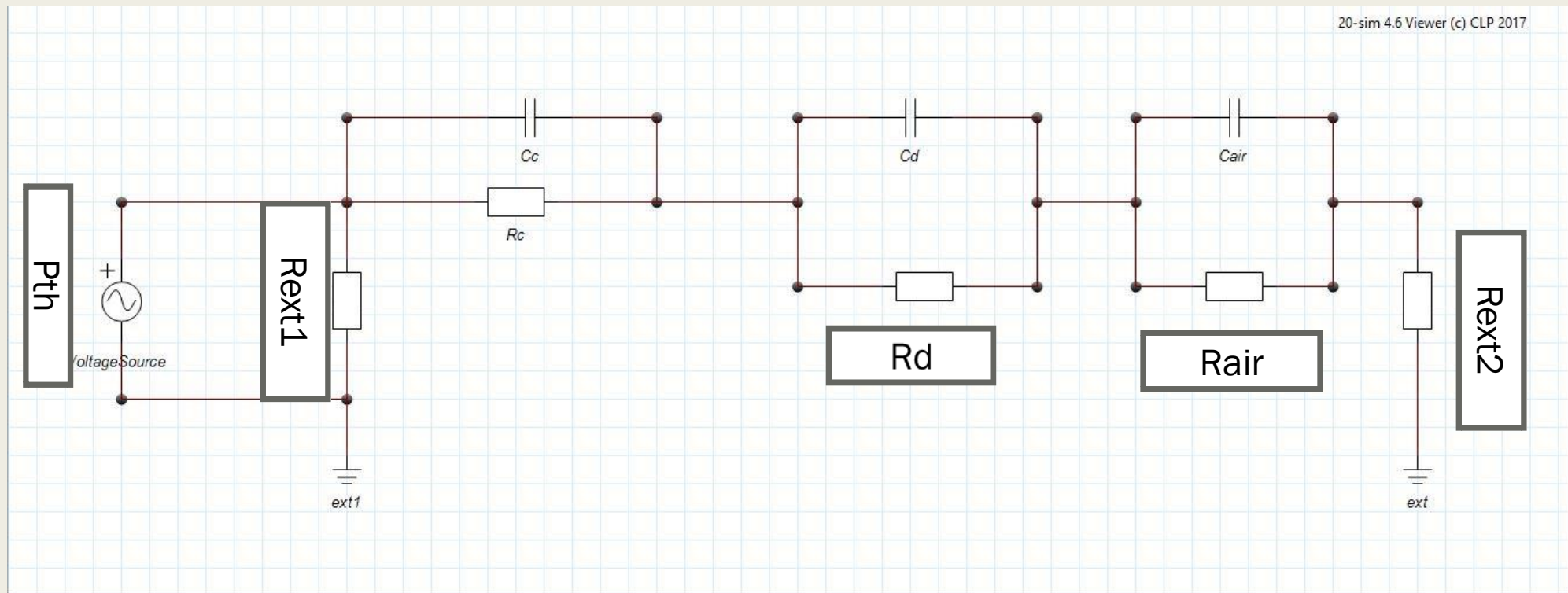
*Interprétation des transferts thermique dans le carbonisateur*



# Méthode de résolution du système dynamique(SLIT)

Puissance thermique	Résistance thermique associée	Expression correspondante
$P_{th}$	$R_{th}$	
$P_{Rc,int}$	$R_{Rc,i}$	
$P_{Rc,ext}$	$R_{Rc,e}$	
$P_{cc,int}$	$R_{cc,i}$	
$P_{cc,ext}$	$R_{cc,e}$	

# Méthode de résolution du système dynamique (SLIT)



# Méthode de résolution du système dynamique (SLIT)

- Un nouveau outil puissant dans l'ingénierie: Le Bond graph



R. Rosenberg H. Paynter D. Karnopp D. Margolis  
International Conference on Bond Graph Modelling  
Phoenix, Arizona, Janvier 2001

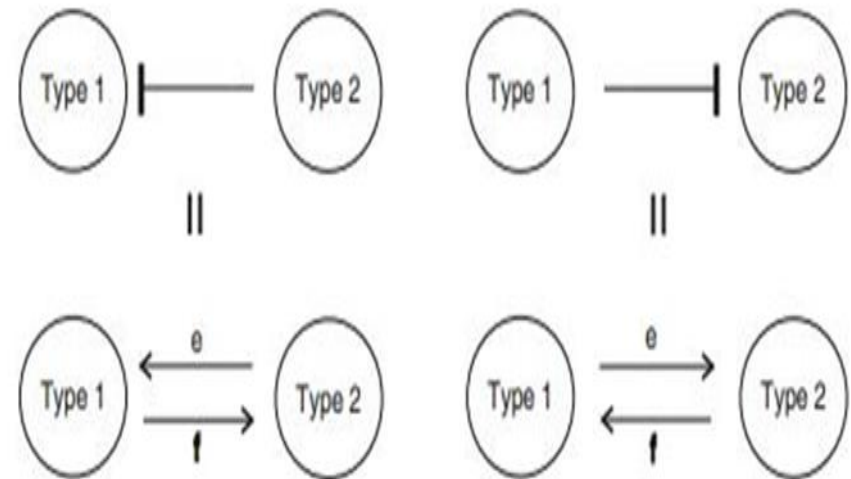
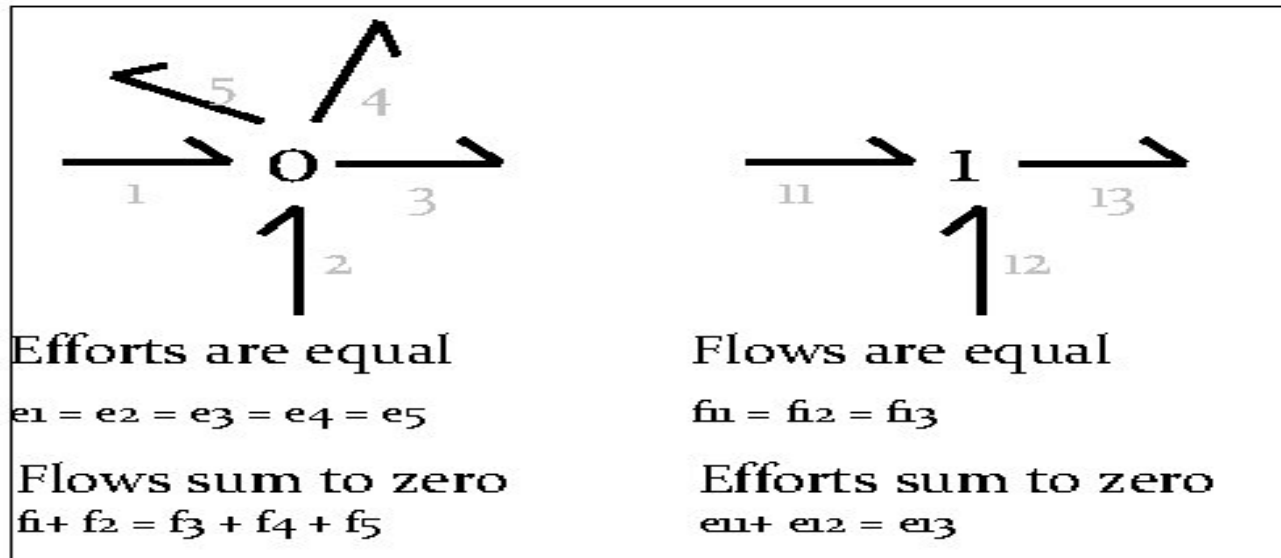


Fig. 1.4 Meaning of the causal stroke: direction of the bilateral signals

# Méthode de résolution du système dynamique (SLIT)

## Modeling: Bond Graph Basic Elements

- Power Bonds Connect at *Junctions*.
- There are two types of junctions, *0* and *1*.



# Méthode de résolution du système dynamique (SLIT)

Le langage du bond graph:

## Définitions de la puissance

La notion de **puissance** (exprimée en Watt) est commune à tous les domaines de la physique.

Domaine	Puissance	"Effort"		"Flux"	
Translation	$F \times V$	Force	N	Vitesse	$m \times s^{-1}$
Rotation	$\Gamma \times \omega$	Couple	N×m	Vitesse angulaire	$rad \times s^{-1}$
Électricité	$U \times I$	Tension	V	Intensité	A ( $C \times s^{-1}$ )
Hydraulique	$p \times Q$	Pression	Pa	Débit	$m^3 \times s^{-1}$
Thermique	$T \times j$	Température	K	Courant thermique	$J \times s^{-1}$

Table 1: Puissance dans les différents domaines de la physique.

*Remarque: l'unité d'un flux fait toujours intervenir des "s<sup>-1</sup>".*

$$P = \text{effort} * \text{flux}$$

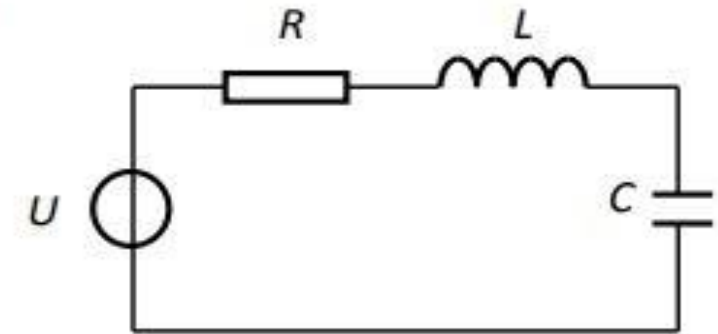
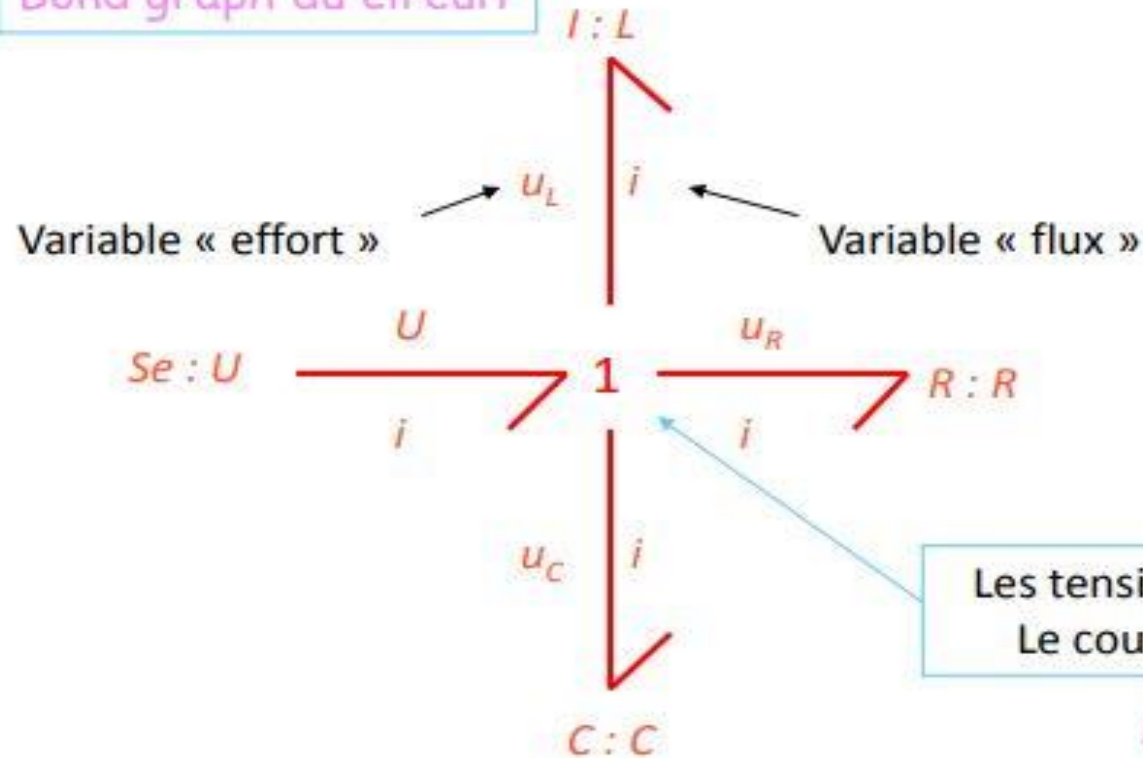
D'après Doc5



# Méthode de résolution du système dynamique (SLIT)

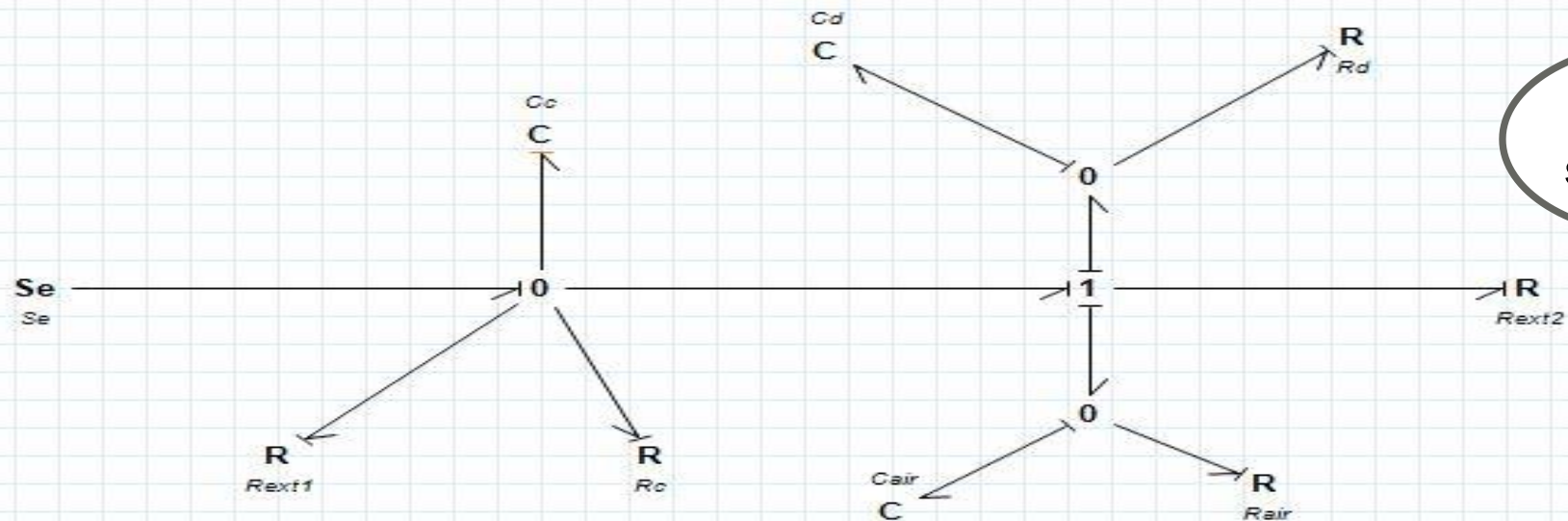
## Premier exemple : un système électrique

Bond graph du circuit

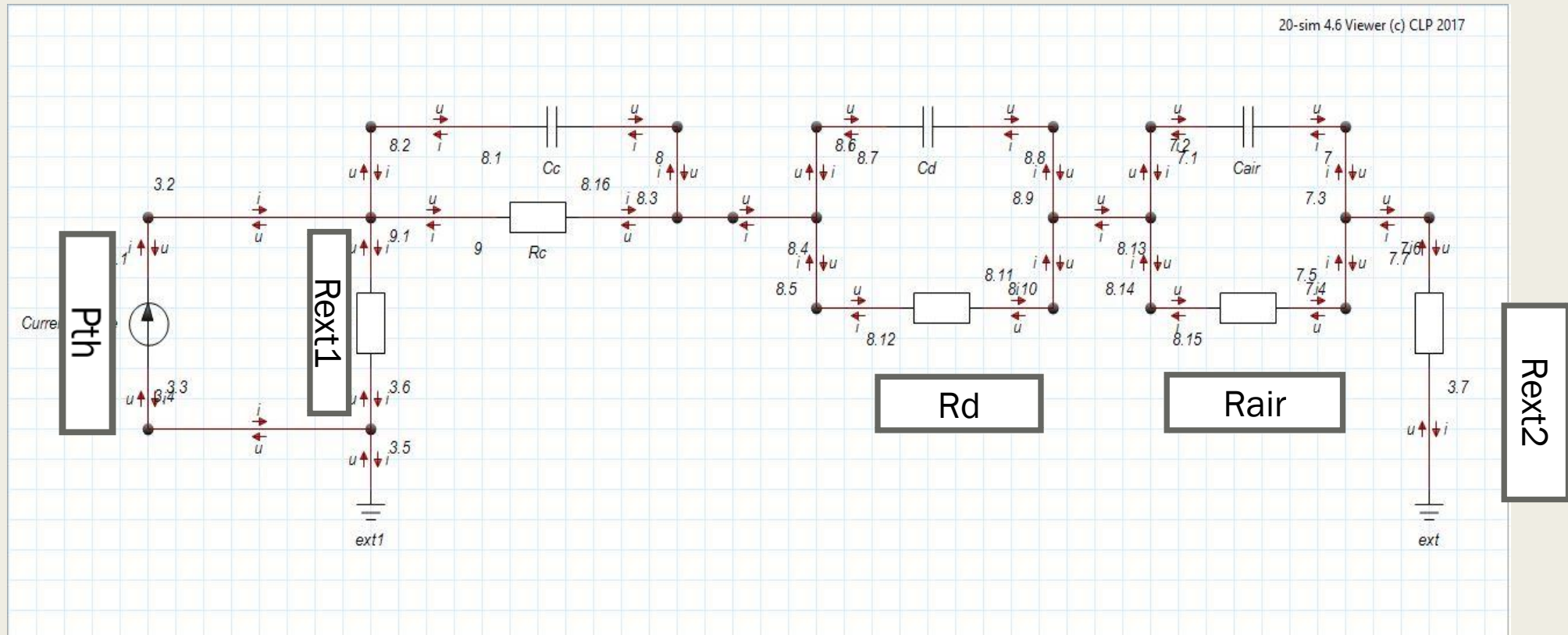


Les tensions sont différentes  
Le courant est identique

Jonction 1



# Méthode de résolution du système dynamique (SLIT)



# Résultats et commentaires

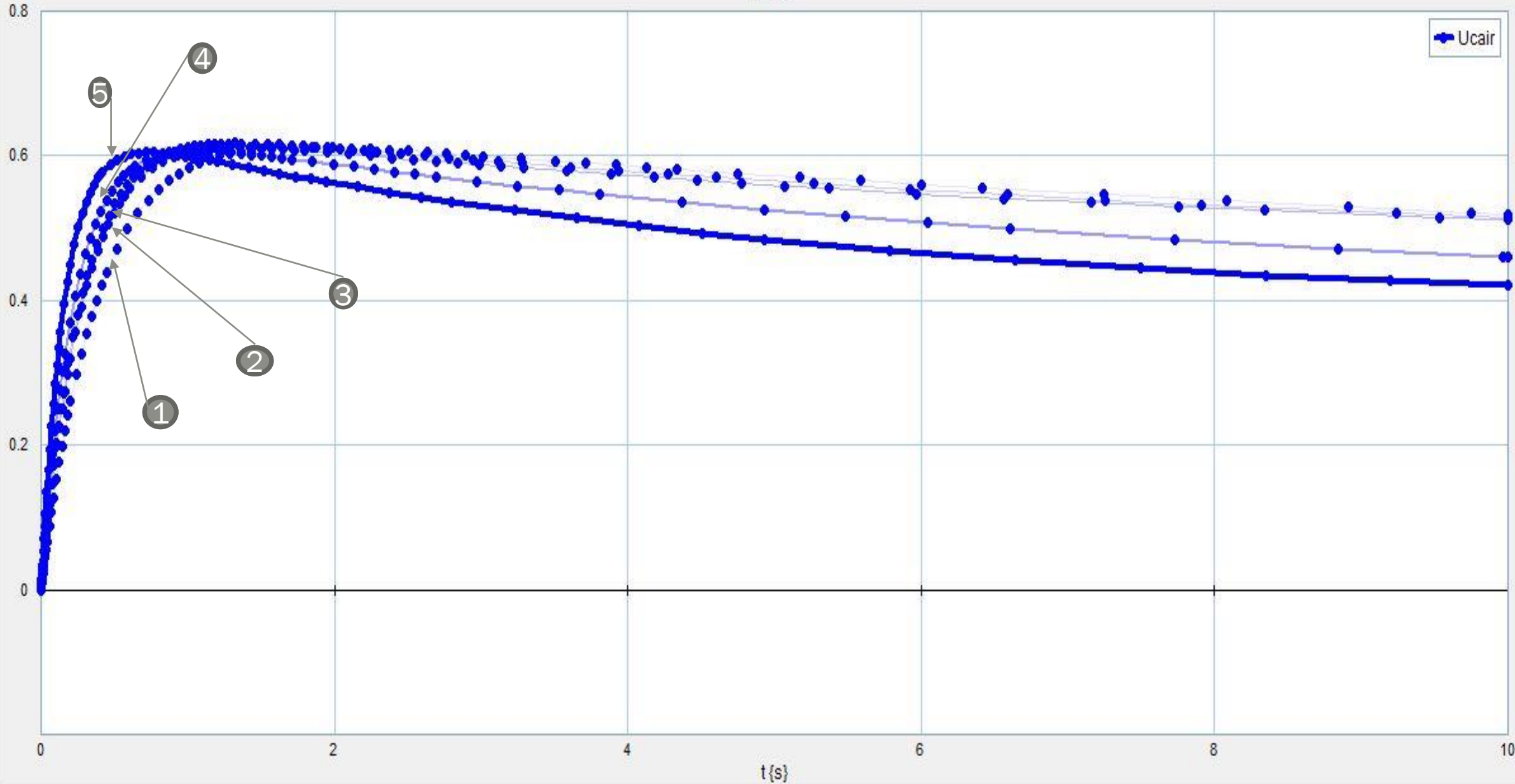
Numéro du graphe	Cc	Cd	Cair
1	1	4	2
2	0,5	2	1
3	0,4	1,6	0,8
4	0,3	1,2	0,6
5	0,2	0,8	0,4

Numéro du graphe	Rc	Rd	Rair	Rext(1et2)
1	1	6	4	0,3
2	1,3	7,8	6,2	0,43
3	1,7	10,2	6,8	0,56
4	1,8	10,8	7,2	0,6
5	1,9	11,1	7,6	0,63

# Résultats et commentaires

20-sim 4.6 Viewer (c) CLP 2017

model

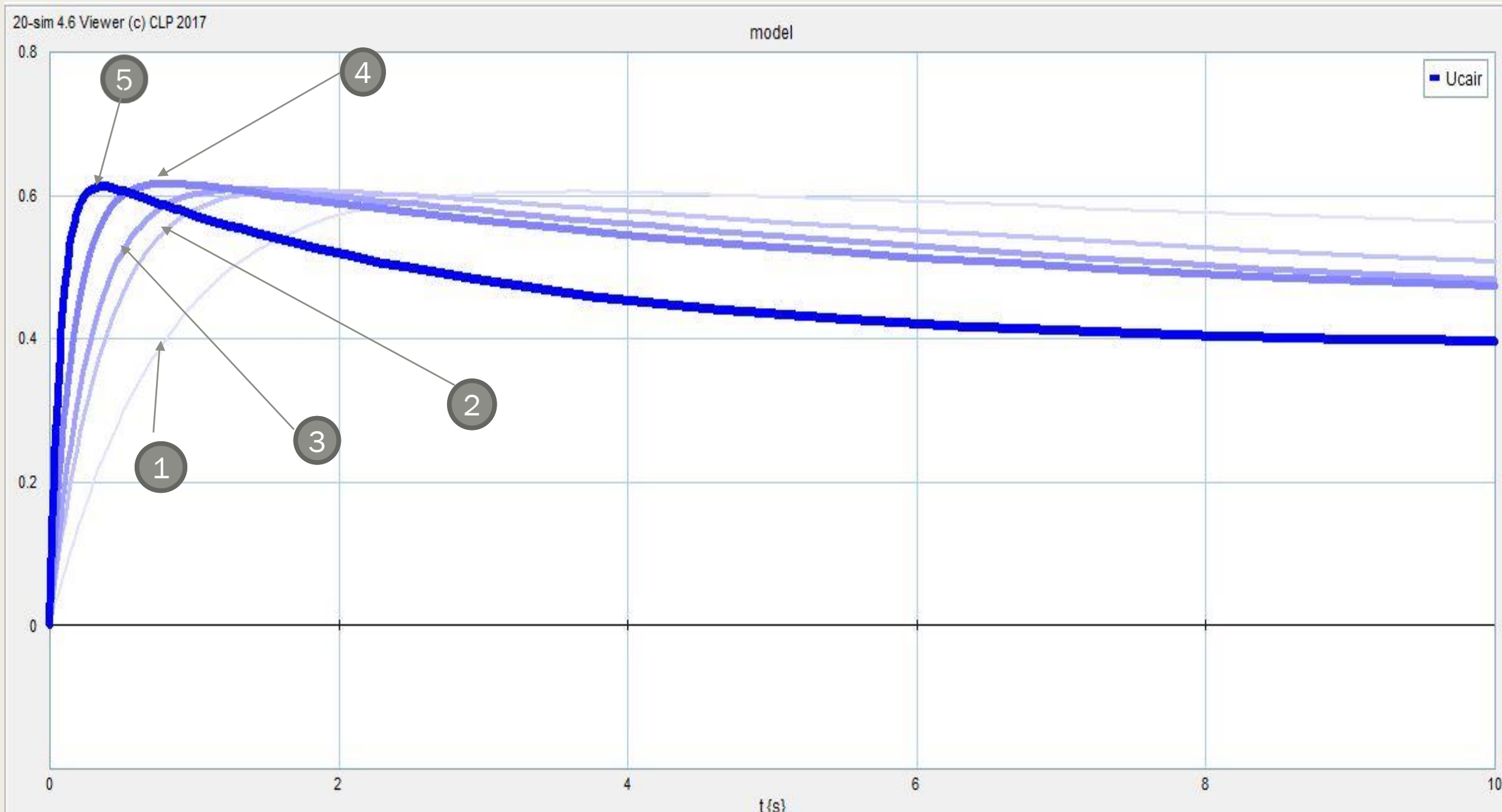


# Résultats et commentaires

Numéro du graphe	Cc	Cd	Cair
1	1	4	2
2	0,5	2	1
3	0,4	1,6	0,8
4	0,3	1,2	0,6
5	0,2	0,8	0,4

Numéro du graphe	Rc	Rd	Rair	Rext(1et2)
1	1,9	11,1	7,6	0.63
2	1,8	10,8	7,2	0,6
3	1,7	10,2	6,8	0,56
4	1,3	7,8	6,2	0,43
5	1	6	4	0,3

# Résultats et discussions






# Commentaires et discussions

- I. En faisant varier dans le sens contraire les deux paramètres ( $R_d$  et  $C_d$ ). La durée du régime transitoire augmente avec l'écart.
- II. En faisant varier dans le même sens les deux paramètres ( $R_d$  et  $C_d$ ). le régime transitoire est atteint plus rapidement.

# Conclusion

- La carbonisation peut être une solution alternative aux énergies renouvelables car elle n'est pas coûteuse et facile à mettre en œuvre.
- La maîtrise d'un procédé de carbonisation en vue de l'obtention d'une qualité meilleure du charbon et d'une productivité optimale nécessite une bonne modélisation des processus d'échange thermique entre les différents éléments du four cornue ce qui exige un niveau de connaissance avancé en ingénierie des systèmes dynamiques.



Merci pour  
votre  
attention