

Yuri Sohor

Professeur à l'institut polytechnique d'Etat de Pskov

***Application de diakoptique tensorielle
pour les calculs numériques parallélisés
dans la résolution des systèmes complexes***

Remerciements

Aujourd'hui les systèmes électrotechniques font de plus en plus intervenir des problématiques de couplages non seulement électromagnétiques mais aussi avec d'autres physiques. Pour décider des architectures de ces systèmes on désire utiliser l'approche systémique. La base mathématique des approches systémiques est la méthode de G.Kron. G.Kron a proposé l'analyse tensorielle des réseaux et un découpage des systèmes en sous-systèmes. De nos jours, de mon point de vue, cette méthode a reçu de nouveaux développements dans les travaux d'O.MAURICE, A.REINEIX, B.DEMOULIN, S.LEMAN et dans d'autres travaux réalisés en France. Ces travaux m'ont inspiré et je prends part aujourd'hui à la conférence CEM 2012 pour présenter certains des derniers résultats de mes recherches dans le domaine de la diakoptique.

J'exprime ma gratitude particulière et ma reconnaissance envers Olivier MAURICE, que je remercie ici pour ses publications, pour son initiative et son intérêt pour mes recherches.

J'exprime la gratitude envers V.A.Vinocourov, A.T.Gorelov, E.V.Kozatchenko pour l'assistance dans mon travail avec les systèmes complexes.

Je remercie le personnel du laboratoire Intel(R) ManycoreTestingLab pour leur accord afin d'estimer l'efficacité des algorithmes élaborés et des programmes de calculs parallélisés sur des architectures multi-cœurs.

Le plan de l'exposé

Les systèmes complexes en ingénierie : problèmes en conception.

Méthode d'étude par l'analyse tensorielle des réseaux :

- Les électroanalogies;*
- Les méthodes numériques;*
- Les modèles topologiques;*
- La diakoptique nodale;*

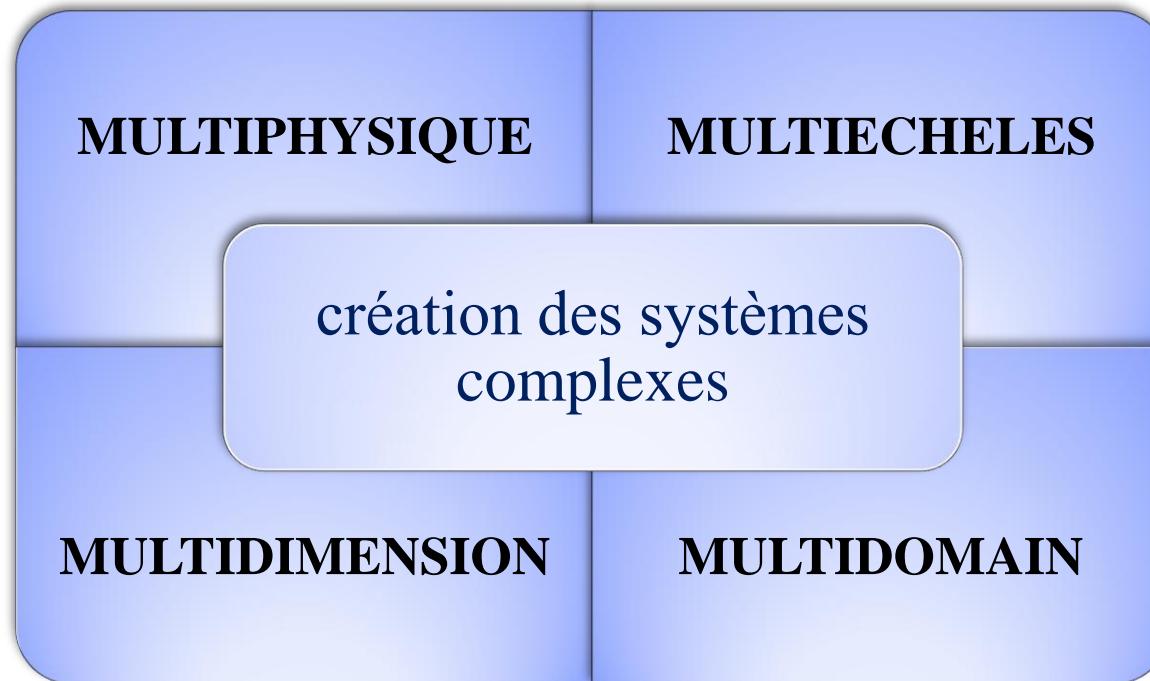
La réalisation de l'algorithme parallélisé :

- Les informations sur les exemples de test;*
- Les résultats du test de certaines tâches;*
- Les particularités de la programmation sur coarray Fortran;*
- La gestion des calculs parallélisés au laboratoire Intel(R) ManycoreTestingLab;*

Les réalisations passées et futures;

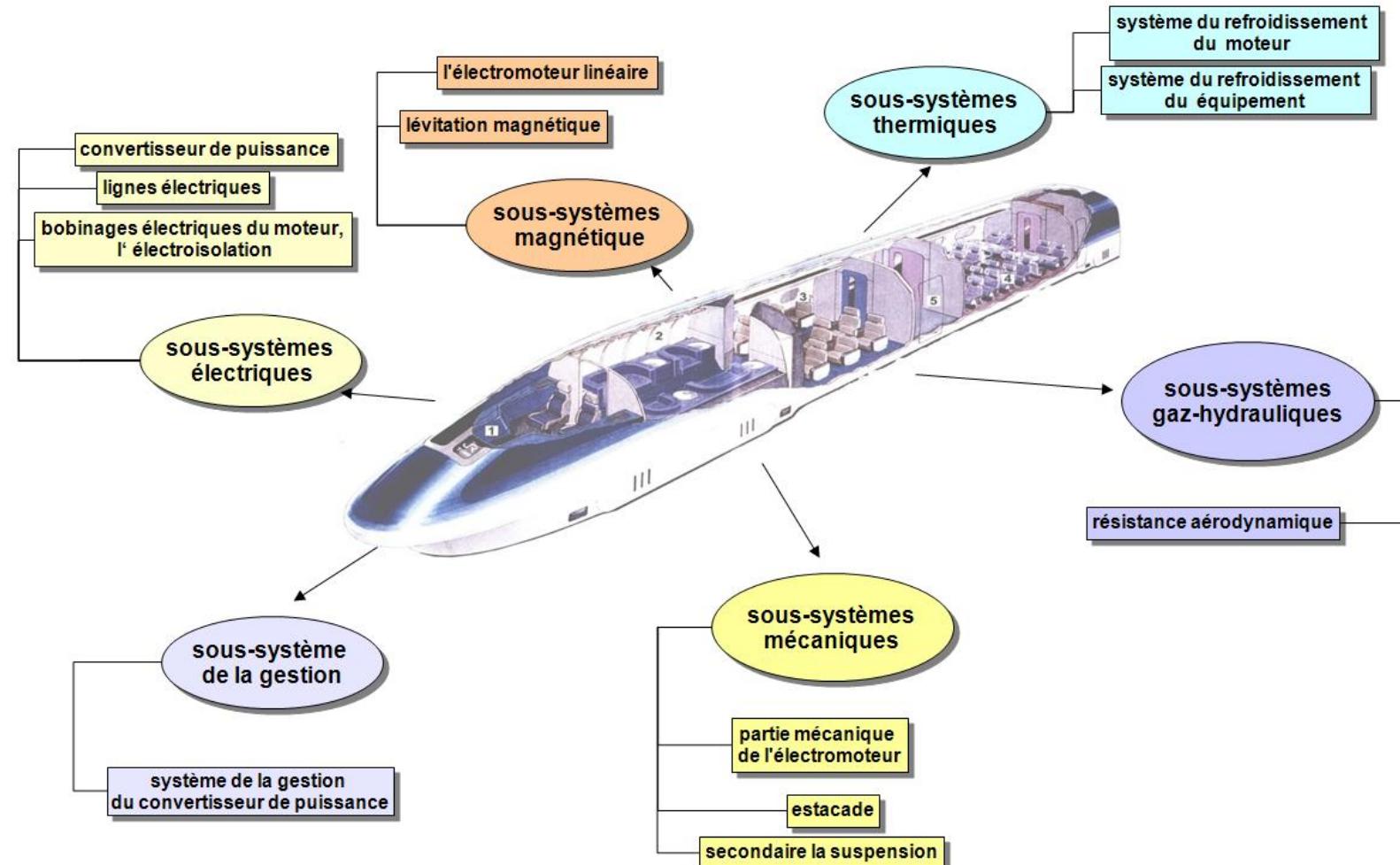
Contact.

On peut recenser les problèmes suivants apparaissant à la création des systèmes complexes :



Je présenterai ensuite certaines illustrations

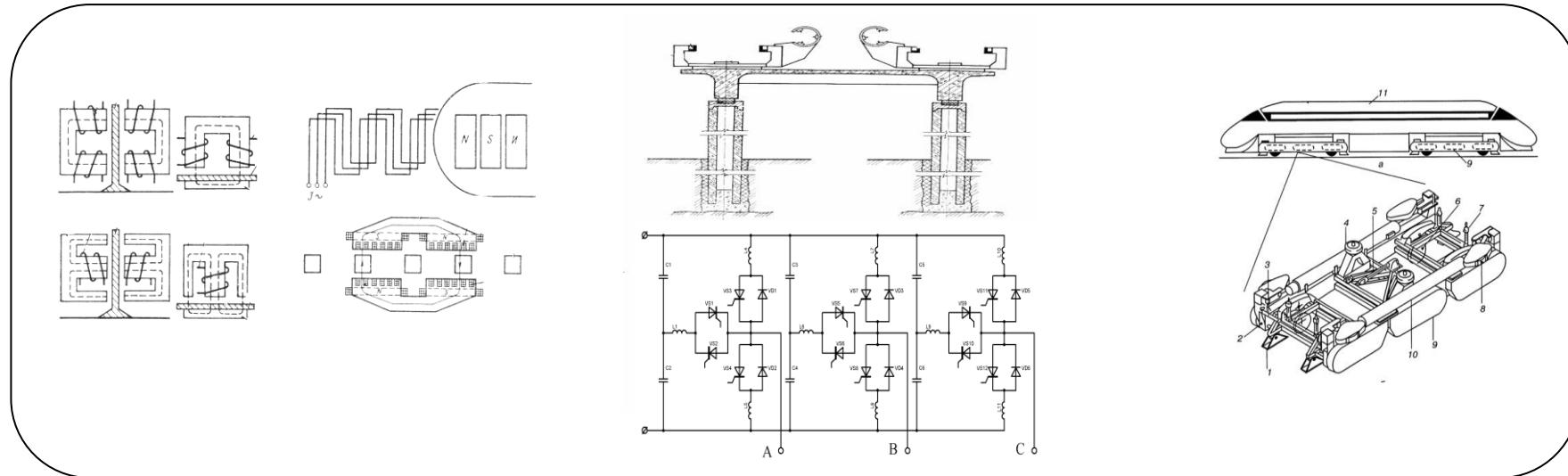
La représentation multiphysique et multiéchelle du système complexe



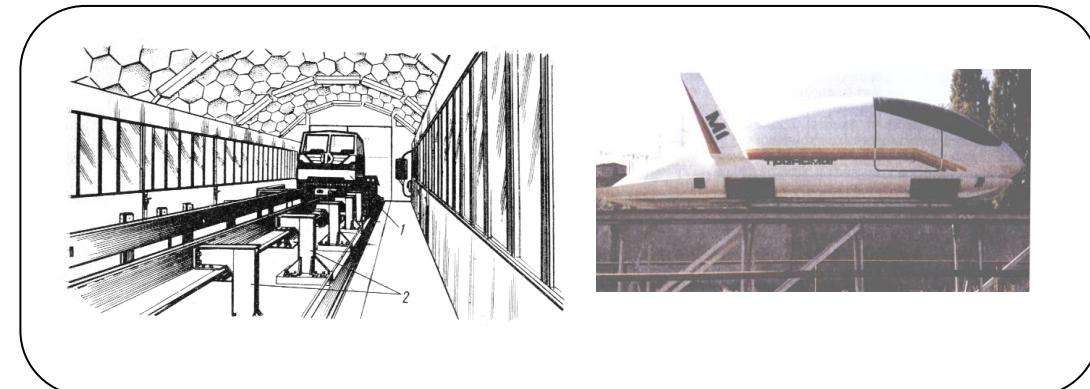
Problème: apparition de la nécessité synthétiser la description des multiples aspects et particularités des diverses conceptions. Le grand nombre des variables, le grand nombre des équations, amenant à des temps de calculs considérables.

Le système complexe présenté à différentes étapes de sa création

Les étapes des recherches



Les modèles expérimentaux



Le système réel



Problème: apparition de nécessité de l'élargissement des représentations sur le système au cours de création de projet et sa réalisation (l'émergence dynamique).

La résolution des systèmes complexes par la techniques de l'analyse tensorielle des réseaux

Pour gérer les aspects inhomogènes des systèmes on utilise la méthode des électroanalogies. L'application de la méthode des analogies électriques a permis de poser les équations pour divers types de sous-systèmes (dans les domaines de la thermique, de la mécanique, etc.) sous forme de schémas électriques équivalents.

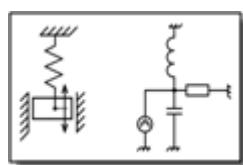
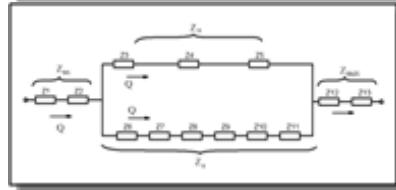
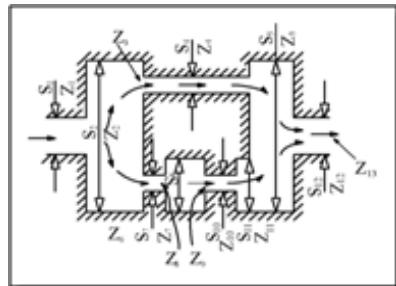
Le groupement dans le formalisme mathématique des objets continus et des objets discontinus topologiques - permet de lier les schémas de calculs mathématiques aux schémas graphiques d'études dans les systèmes d'ingénierie assistée par ordinateur et de conception assistée par ordinateur (IAO/CAO).

Pour la résolution de grandes quantités de variables et d'équations il est nécessaire de disposer du maximum de puissance des équipements informatiques dans le cadre d'usage d'outils numériques. Aujourd'hui on dispose des architectures de processeurs multicoeurs. Pour exploiter la pleine puissance des processeurs d'aujourd'hui et de demain il faut nécessairement faire parallélisme. L'application de la méthode du calcul par parties, élaboré dans le cadre de la diakoptique tensorielle, permet de faire les calculs parallèles.

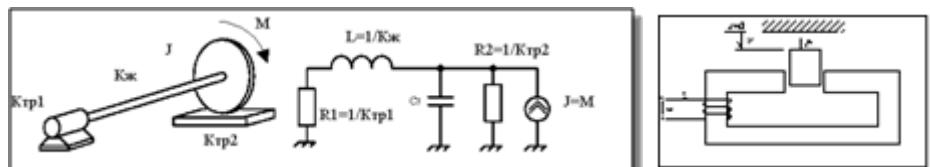
Méthode d'étude par l'analyse tensorielle des réseaux

Méthode des analogies électriques

Les modèles électriques des sous-systèmes énergétiques

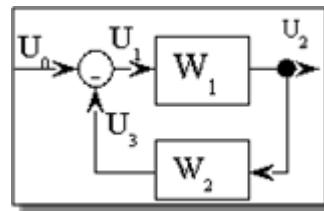


sous-systèmes	les variables de phase		les composants		
	les variables du flux (contrevariantes)	les variables du potentiel (covariantes)	R	L	C
électrique	le courant	la tension	la résistance	l'inductance	la capacité
mécaniques: mouvement de translation	la force	la vitesse	la friction	l'élasticité	la masse
mécaniques: mouvement de rotation	le moment	la vitesse angulaire	la friction	l'élasticité rotatoire	le moment d'inertie
gaz-hydrauliques	la dépense massive	la pression	la friction hydraulique	l'inductance hydraulique	la capacité hydraulique
thermiques	le flux de chaleur	la température	la résistance thermique		la capacité thermique
les désignations	i	E	E=R·i	E=L·di/dt	i=C·dE/dt



Pour les systèmes énergétiques amenés dans ce tableau, les modèles électriques élaborés sont largement utilisés dans les calculs de génie électrique.

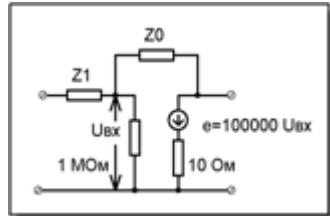
Les modèles électriques des sous-systèmes de signaux



	les variables de phase		les fonctions de transmission les tableaux des passages
	le signal d'entrée	le signal de sortie	
désignation	Ee	Es	$Es=W \cdot Ee$ $Es=f(Ee)$

Pour les sous-systèmes de signaux, les modèles électriques sont des sources commandées - en général, des sources de tension. Pour le calcul des sous-systèmes de signaux, l'usage de schémas est trop lourd. Les sous-systèmes de signaux sont alors rattachés à des blocs séparés des schémas électriques et calculés dans des sous-programmes séparés.

Les modèles électriques du lien des sous-systèmes

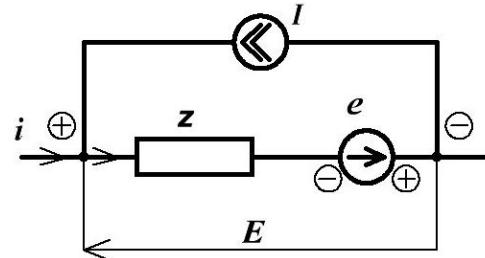


	source de courant commandée	source de tension commandée
désignation	$I=f$ (les variables, les composants)	$e=g$ (les variables, les composants)

Pour les liens entre des sous-systèmes de diverses natures physiques on utilise des sources de courant commandées et des sources de tension commandées.

Pour d'autres cas, les liens entre les sous-systèmes sont implémentés dans le tenseur métrique. On peut trouver les développements mathématiques de tels liens dans les travaux O.MAURICE et A.REINEIX - <http://olivier.maurice.pagesperso-orange.fr/>

Le schéma et l'équation de la branche généralisée



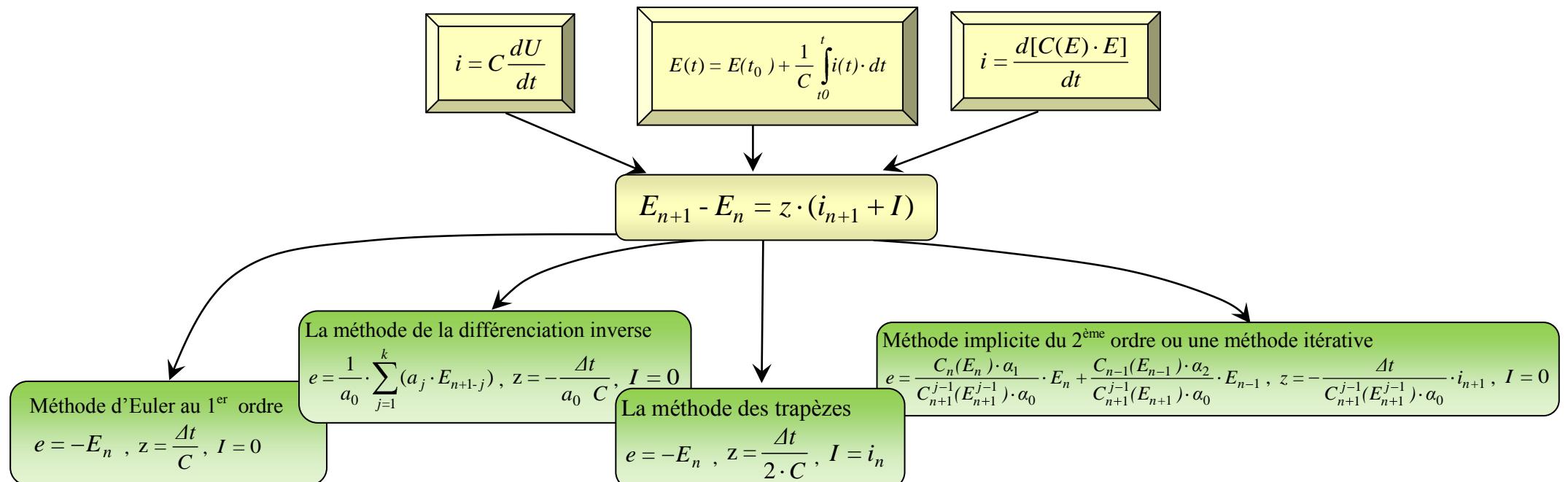
$$E + e = z \cdot (i + I)$$

$$i + I = Y \cdot (E + e)$$

- E - tension
- e - source de tension
- z - résistance
- Y - conductance
- i - courant
- I - source de courant

Sur la base de la branche généralisée on construit des modèles électriques comme termes algébriques des équations différentielles ordinaires et des équations intégrales

Pour un calcul en temporel, à chaque pas de temps est calculé :



Sur la base de la branche généralisée on construit des modèles électriques comme termes algébriques des équations différentielles aux dérivées partielles

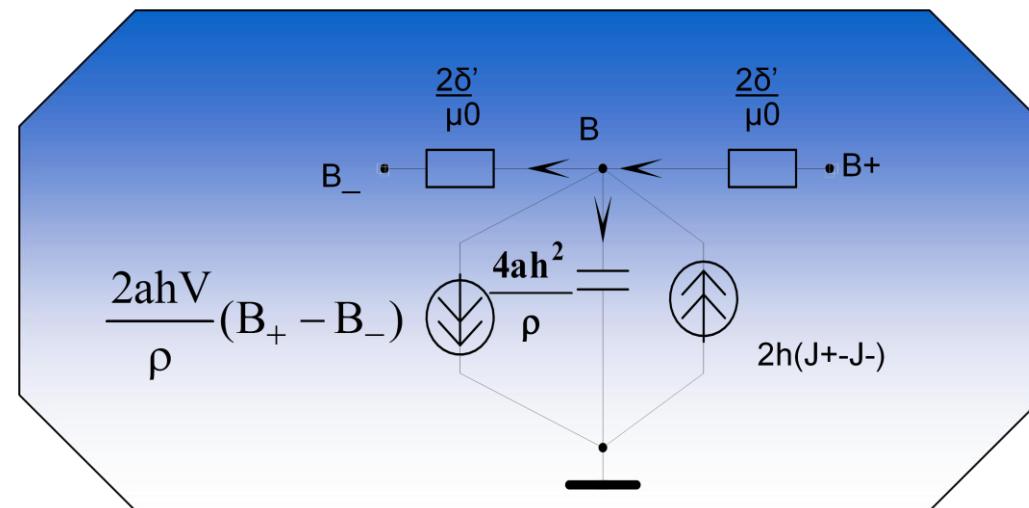
$$\frac{\delta'}{\mu_0} \cdot \frac{\partial^2 B}{\partial x^2} - \frac{a}{\rho} \frac{dB}{dt} - \frac{a}{\rho} \cdot V \cdot \frac{\partial B}{\partial x} = - \frac{\partial J_1}{\partial x}$$

Après application d'une méthode des différences finies, on obtient l'équation algébrique

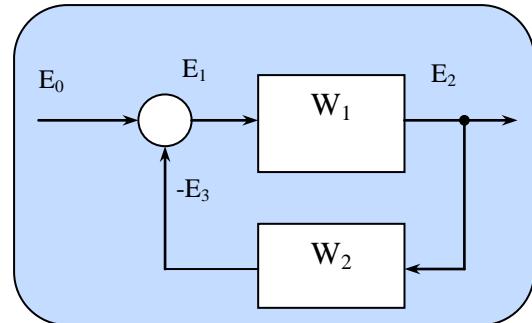
$$\frac{2\delta'}{\mu_0} \cdot (B_+ - B) - \frac{2\delta'}{\mu_0} \cdot (B - B_-) - \frac{4ah^2}{\rho} \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t} - \frac{2ah}{\rho} \cdot V \cdot (B_+ - B_-) = -2h(J_+ - J_-),$$

où $B_+ = B(x+h, t)$; $B = B(x, t)$; $B_- = B(x-h, t)$; $J_+ = J(x+h, t)$; $J_- = J(x-h, t)$

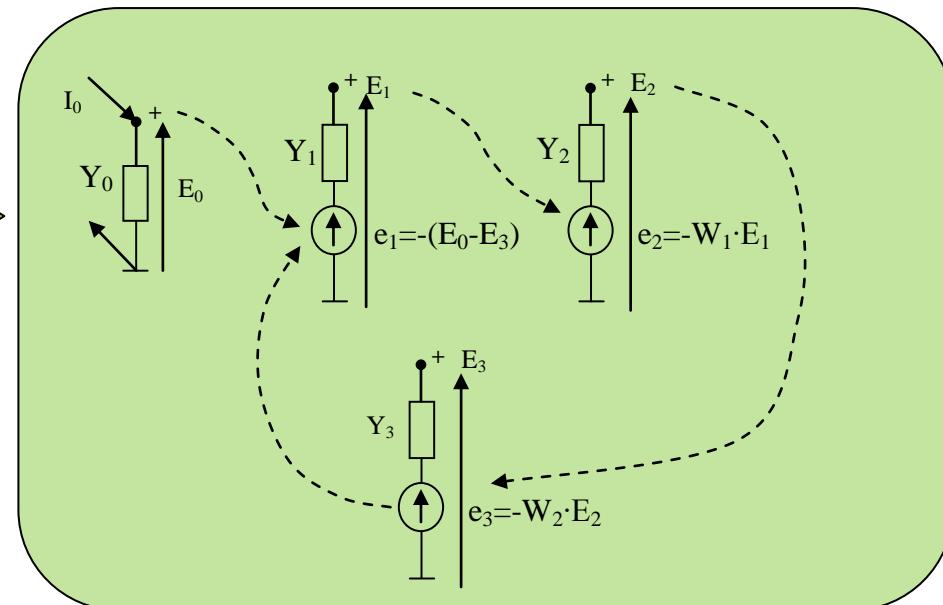
Schéma électrique équivalent pour l'approximation algébrique de l'équation aux dérivées partielles



Les modèles électriques des sous-systèmes de signaux



$$\begin{bmatrix} I_{in} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} in & out \\ W_{21} & W_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} E_{in} \\ E_{out} \end{bmatrix}$$



$$W_{21} = \begin{bmatrix} in \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix} \quad W_{22} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 1 & & 1 \\ -W_1 & 1 & \\ & -W_2 & 1 \end{bmatrix}$$

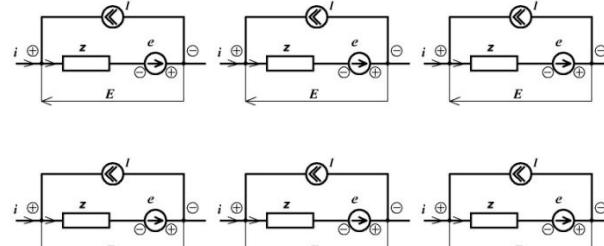
$$E_{out} = - (W_{22})^{-1} \cdot W_{21} \cdot E_{in}$$

Dans les travaux de O.MAURICE sur les liens, qui sur le dessin sont représentés par les lignes pointillées, ces liens sont dénommés des cordes

Pour les sous-systèmes de signaux les modèles électriques sont réduits aux sources commandées - c'est les sources de tension commandées.

Les modèles topologiques de l'analyse tensorielle des réseaux

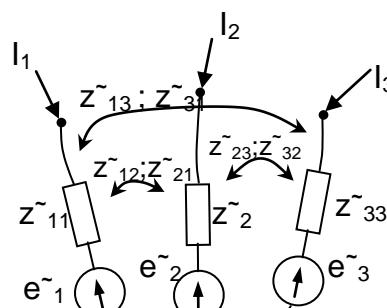
Schéma élémentaire



$$E_b + e_b = z_{bb} \cdot (i_b + I_b)$$

$$C = \begin{matrix} & 1 & 2 & 3 & a & b & c \\ z1 & & & & 1 & & \\ z2 & & & & & 1 & \\ z3 & & -1 & & 1 & -1 & \\ z4 & & & 1 & 1 & -1 & \\ z5 & -1 & -1 & & 1 & -1 & -1 \\ z6 & & & & & & 1 \end{matrix}$$

Réseau équivalent « purement-nodal »



$$E_o + e^{\sim}_o = z^{\sim}_{oo} I_o$$

$$e^{\sim}_o = e_o - Z_{om} \cdot (Z_{mm})^{-1} \cdot e_m$$

$$z^{\sim}_{oo} = z_{oo} - Z_{om} \cdot (Z_{mm})^{-1} \cdot Z_{mo}$$

$$A = (C_t)^{-1}$$

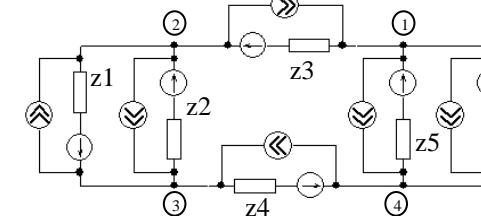
$$A_t = \begin{matrix} & z1 & z2 & z3 & z4 & z5 & z6 \\ z1 & & & 1 & & -1 & -1 \\ z2 & 1 & -1 & -1 & & & \\ z3 & -1 & 1 & & 1 & & \\ a & 1 & & & & & \\ b & & 1 & & & & \\ c & & & & & & 1 \end{matrix}$$

$$\begin{aligned} i &= C \cdot i'; & I &= C \cdot I' \\ E' &= C_t \cdot E & e' &= C_t \cdot e \\ z' &= C_t \cdot z \cdot C & & \\ P &= E \cdot i & = E' \cdot i' = P' & \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} E_o \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_o \\ e_m \end{bmatrix} = \begin{matrix} o & m \\ m & \end{matrix} \begin{bmatrix} z_{oo} & z_{om} \\ z_{mo} & z_{mm} \end{bmatrix} \cdot \left(\begin{bmatrix} 0 \\ i_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I_o \\ I_m \end{bmatrix} \right)$$

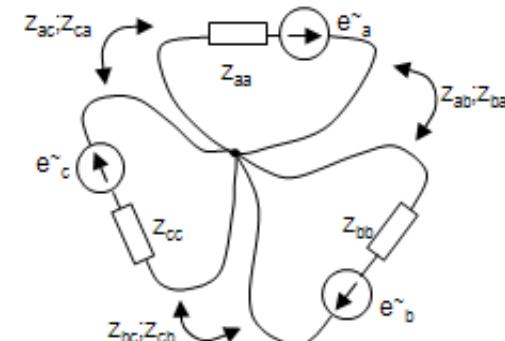
Pour le calcul par parties il faut: $E_o = z^{\sim}_{oo} I_o - e^{\sim}_o$

Schéma recueilli



$$E' + e' = z' \cdot (i' + I')$$

Réseau équivalent « purement-maille »



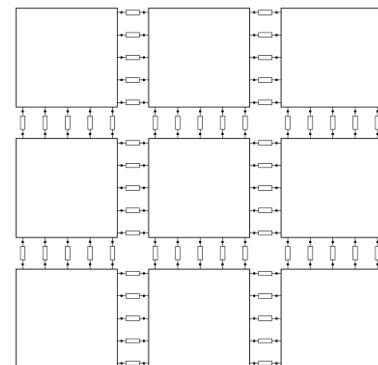
$$e^{\sim}_m = z_{mm} (i_m + I_m)$$

$$e^{\sim}_m = e_m - z_{mo} I_o$$

décomposition nodale et calcul par parties

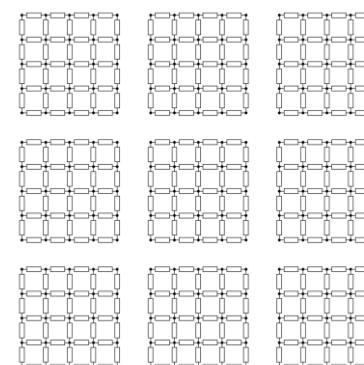
Dans équations présentées on utilise les indices suivants:
b - Les coordonnées des branches de sous-schémas,
m - Les coordonnées des mailles de sous-schémas,
o - Les coordonnées des noeuds de sous-schémas,
 \bar{o} - Les coordonnées des noeuds de frontière,
s - Les coordonnées des réseau intersections,
a - Les coordonnées des réseau circulation
pm - Les coordonnées des mailles de réseau total.

1. L'entrée d'information sur le schéma



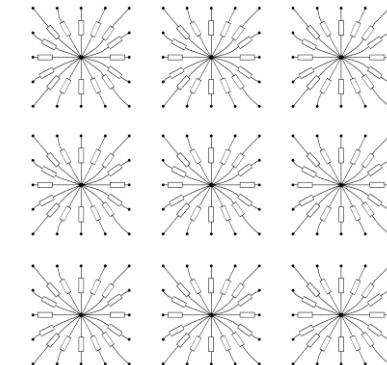
On utilise un format type Spice

2. L'entrée d'information sur les sous-schémas.



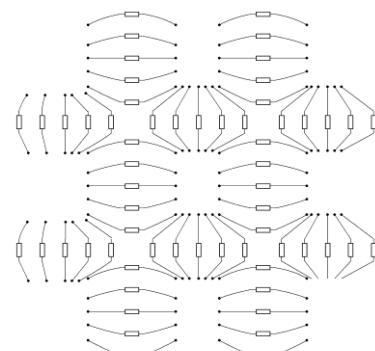
On utilise la base de données.
Le format intérieur.

3. La formation et le calcul des sous-schémas radiaux



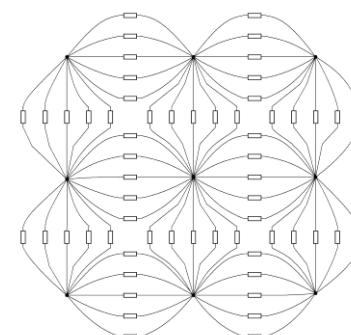
$$\begin{aligned} \tilde{Z}_{oo} &= Z_{oo} - Z_{om} (Z_{mm})^{-1} Z_{mo} \\ E_o &= \tilde{Z}_{oo} I_o - e_o \\ \text{la formation de la matrice des impédances de noeuds de frontières } \tilde{Z}_{\bar{o}\bar{o}} \end{aligned}$$

4. La formation de la topologie du réseau intersections et de la topologie du schéma total



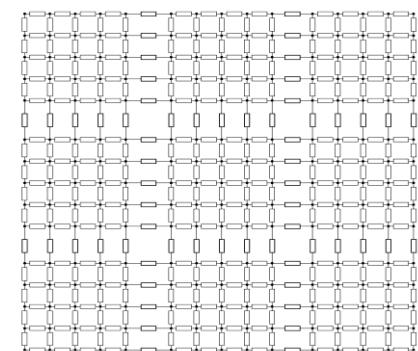
$$\begin{aligned} C_{\bar{o}p_m} &= C_{\bar{o}s} \cdot C_{sa} \cdot C_{ap_m} \\ C_{sp_m} &= C_{sa} \cdot C_{ap_m} \end{aligned}$$

5. Le calcul des courants du schéma total



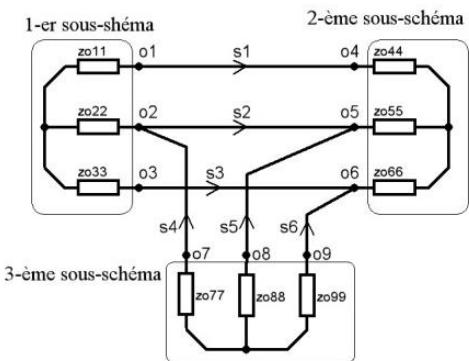
$$\begin{aligned} Z_{pmpm} &= C_{pmpm} \cdot \tilde{Z}_{\bar{o}\bar{o}} \cdot C_{\bar{o}p_m} \\ e_{pm} &= -C_{pmpm} \cdot E_{\bar{o}} \\ i_{pm} &= (Z_{pmpm})^{-1} \cdot e_{pm} \end{aligned}$$

6. Calcul de la réponse définitive.



$$\begin{aligned} i_s &= C_{sp_m} \cdot i_{pm} ; \\ \Delta I_{\bar{o}} &= C_{\bar{o}s} \cdot i_s ; \Delta E_o = Z_{o\bar{o}} \Delta I_{\bar{o}} ; \\ \bar{E}_o &= E_o + \Delta E_o ; E_b = A_{bo} \cdot \bar{E}_o \end{aligned}$$

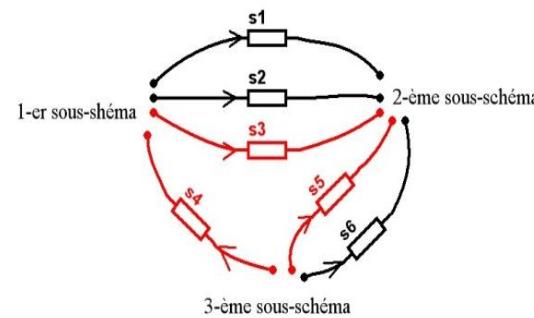
Les matrices topologiques utilisées dans le calcul par parties



$C_{\bar{o}s} =$

	s1	s2	s3	s4	s5	s6
o1	-1					
o2		-1				
o3			-1			
o4	1					
o5		1			1	
o6			1			1
o7				-1		
o8					-1	
o9						-1

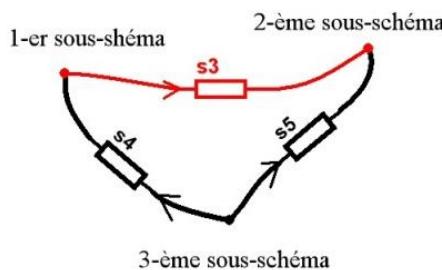
La formation de la topologie du réseau intersections



$C_{sa} =$

	s3	s4	s5	s1	s2	s6
s1				1		
s2					1	
s3	1			-1	-1	
s4		1				
s5			1			-1
s6						1

La formation de la topologie du réseau circulation



	s4	s5	s3	s1	s2	s6
s3			1			
s4	-1		1			
s5		-1	-1			
s1				1		
s2					1	
s6						1

	s3	s1	s2	s6
s3	1			
s4	1			
s5	-1			
s1		1		
s2			1	
s6				1

La formation de la topologie du schéma total

Les branches du lien peuvent être présentées comme des clés idéales qui rompent le réseau en circuit-ouvert dans l'état non-conducteur et deviennent en court-circuit dans l'état passant. La structure du réseau reste invariable. L'algorithme doit prévoir le choix automatique des nouvelles branches totales dans le réseau de circulation.

les étapes principales de l'algorithme

Nº	Nom de l'étape	Formule
1	L'entrée du schéma et des sous-schémas	
2	Calcul des résistances des sous-schémas. Séparation des résistances de frontière des sous-schémas	$\tilde{Z}_{oo} = Z_{oo} - Z_{om} \cdot (Z_{mm})^{-1} \cdot Z_{mo}$ $Z_{\bar{o}\bar{o}}$
3	Collecte d'information sur les résistances de frontière	
4	Formation de la topologie du schéma total	$C_{\bar{o}p_m} = C_{\bar{o}s} \cdot C_{sa} \cdot C_{ap_m}$
5	Formation des matrices des résistances du schéma total	$Z_{p_m p_m} = C_{p_m \bar{o}} \cdot \tilde{Z}_{\bar{o}\bar{o}} \cdot C_{\bar{o}p_m}$ $y_{p_m p_m} = (Z_{p_m p_m})^{-1}$
6	Calcul des tensions nodales des sous-schémas	$E_o = \tilde{Z}_{oo} \cdot I_o - e_{\bar{o}}, \text{ où } e_{\bar{o}} = e_o - Z_{om} \cdot (Z_{mm})^{-1} \cdot e_m$
7	Calcul des fem de mailles du schéma total	$e_{p_m} = -C_{p_m \bar{o}} \cdot E_{\bar{o}}$
8	Calcul des courants du schéma total	$i_{p_m} = y_{p_m p_m} \cdot e_{p_m}$
9	Envoi des résultats i_m	$e_{p_m} = Z_{p_m p_m} \cdot i_{p_m}$
10	Calcul des accroissements des courants de nœuds. Calcul de la réponse définitive.	$i_s = C_{sp_m} \cdot i_{p_m}$ $\Delta I_{\bar{o}} = C_{\bar{o}s} \cdot i_s \quad \Delta E_o = \tilde{Z}_{oo} \cdot \Delta I_{\bar{o}} \quad \Delta i_m = -(Z_{mm})^{-1} \cdot Z_{m\bar{o}} \cdot \Delta I_{\bar{o}}$ $\check{E}_o = E_o + \Delta E_o \quad \tilde{i}_m = i_m + \Delta i_m$ $E_b = A_{bo} \cdot \check{E}_o \quad i_b = C_{b\bar{o}} \cdot \Delta I_{\bar{o}} + C_{bm} \cdot (I_m + \tilde{i}_m)$
11	Enregistrement des résultats du calcul	

Ici on présente les étapes principales de l'algorithme. Les lignes obscurcies (4, 5, 7, 8, 11) correspondent à la partie séquentielle de l'algorithme. Les lignes (1, 2, 6, 10) correspondent à la partie parallélisée de l'algorithme. Les lignes 3 et 9 correspondent à l'envoi des données entre les coeurs. Dans le tableau, dans les lignes 5 et 8, on présente deux variantes de l'algorithme. La variante de gauche correspond au calcul de la matrice inverse des résistances linéaires du schéma total. La variante de droite correspond au calcul du schéma total par la méthode du Gauss.

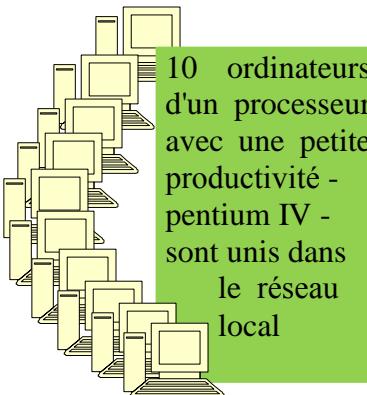
La réalisation de l'algorithme parallélisé

Organisation générale des calculs parallélisés

L'algorithme parallélisé était réalisé dans le cadre d'un projet d'étude pour un cours "Base de la conception assistée par ordinateur des systèmes électrotechniques". Le but du cours est : montrer le mécanisme des systèmes CAE/CAD, leur organisation, leurs modes de fonctionnement et comment les utiliser. Les calculs parallélisés étaient accomplis avec l'utilisation du laboratoire Intel® Manycore TestingLab (MTL).

Les travaux de laboratoire se faisaient dans la classe informatique. Pour le test des calculs parallélisés dans la classe informatique, on utilisait les schémas électriques comprenant les parties. Ces schémas se préparaient dans le logiciel de schéma KiCad avec utilisation de la bibliothèque des sous-schémas. Tous les sous-schémas avaient la topologie cellulaire.

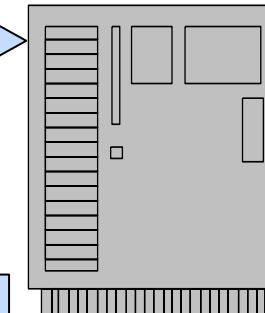
Dans le système MTL étaient utilisés: le système d'exploitation Linux, le manager de fichier MC, Intel Fortran Compiler 12; on établissait d'avance la bibliothèque et le fichier à exécuter. Pour la gestion des calculs on utilisait le paquet de fichiers préparés.



Pour la construction de l'image graphique des fichiers textes on utilisait les logiciels SciLab et ParaView.

Le schéma dans le format de KiCAD **sch** et la liste des liaisons dans le format type Spice **cir** envoyés via Internet sur l'ordinateur Intel.

VPN Internet



Les résultats du calcul dans le format de texte étaient copiés sur les ordinateurs du laboratoire d'étude.

les ordinateurs 40-coeurs de la haute productivité d'Intel MTL avec l'architecture NUMA.

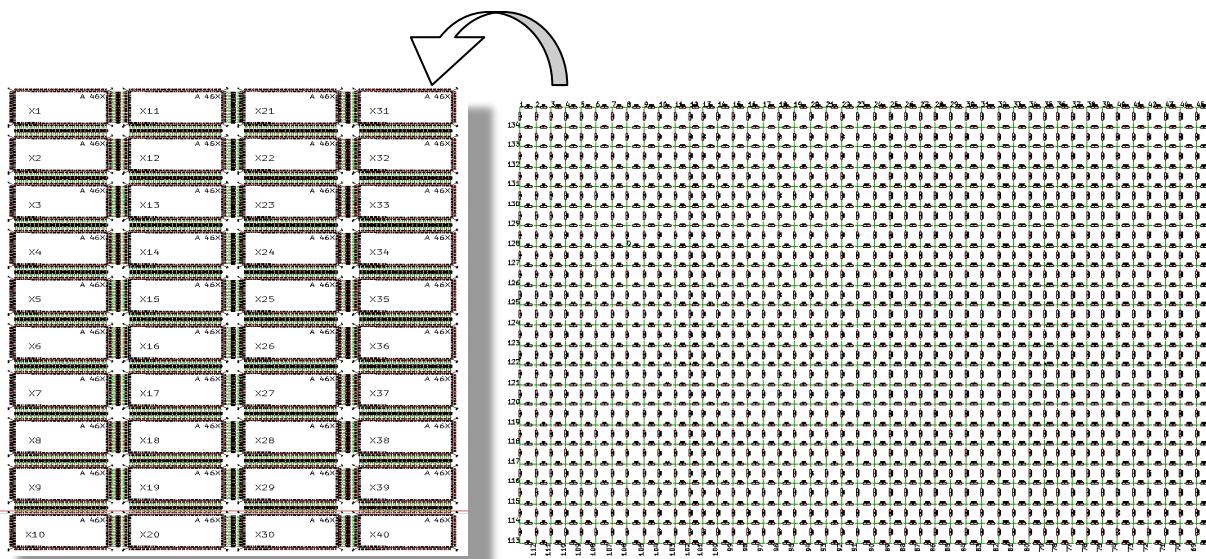
Le but de tous les calculs - le test des logicielles. Au cours du test on fixait le temps de calcul et les caractéristiques principales des calculs parallélisés. **L'accélération** est calculée selon la formule

$A = (N \cdot T_p + T_s)/(T_p + T_s)$, où T_s est le temps de calcul de la partie séquentielle du programme, ***T_p* - le temps de calcul** de la partie parallélisée du programme et N - le nombre de coeurs (sous-schémas).

L'efficacité est calculée selon la formule : $E=A/N$.

Résultats de calcul : fichiers textes avec les données sur les courants et les tensions sur XY - coordonnées du schéma (**csv**) et le fichier texte (**txt**), avec les caractéristiques de performances des calculs parallélisés.

Le schéma standard pour les calculs de test



Sur le dessin on présente une des variantes du schéma préparé pour le calcul de test.

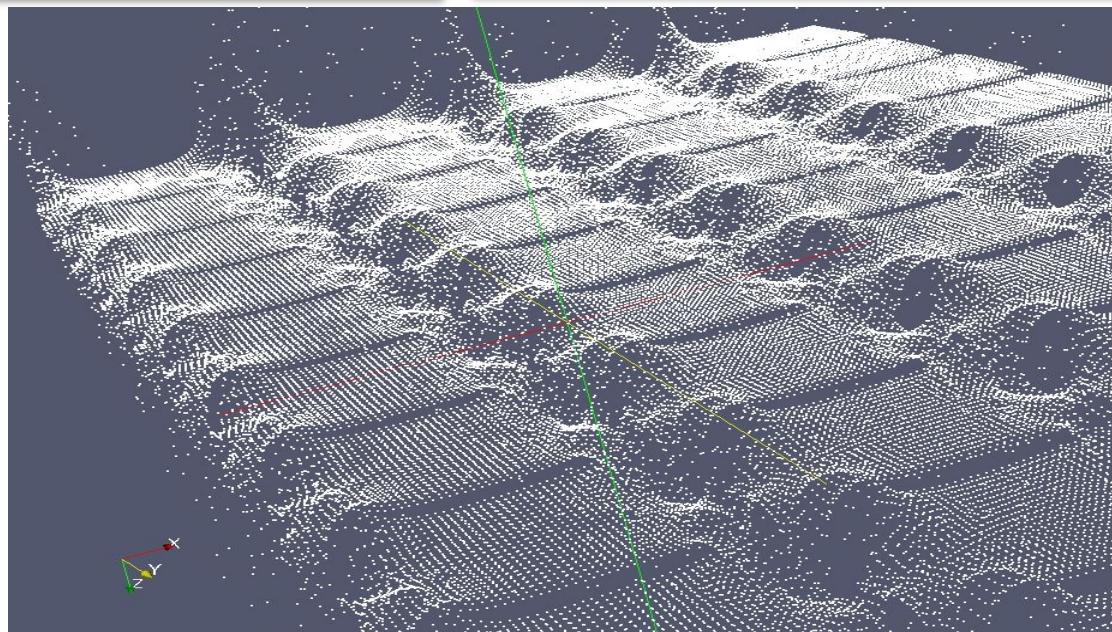
Le schéma comprend 40 sous-schémas identiques et 2047 résistances dans chaque sous-schéma en topologie cellulaire (le nombre de branches est de 81880).

Dans chaque sous-schéma il y a une source de la tension 1V, qui agit successivement avec la résistance R1. La topologie d'un sous-schéma est présentée à droite.

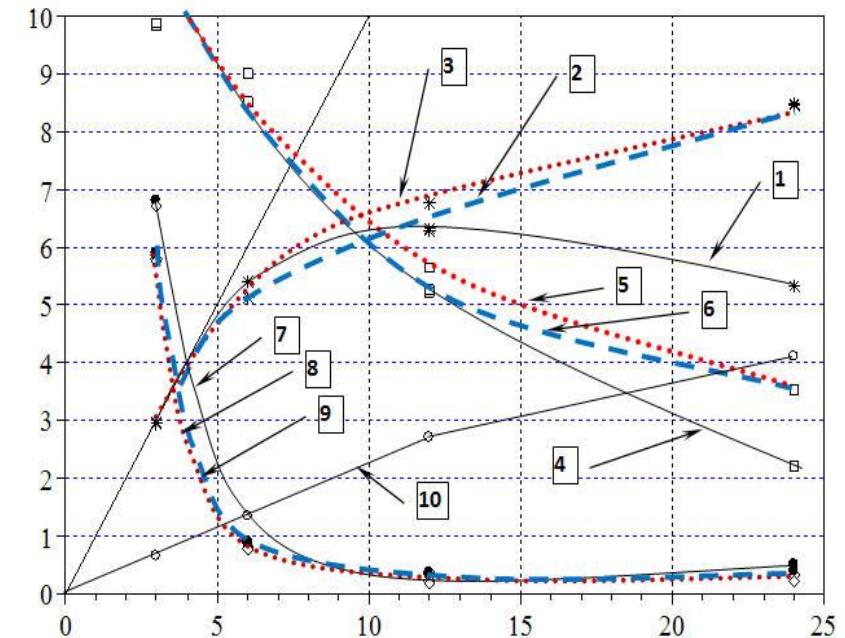
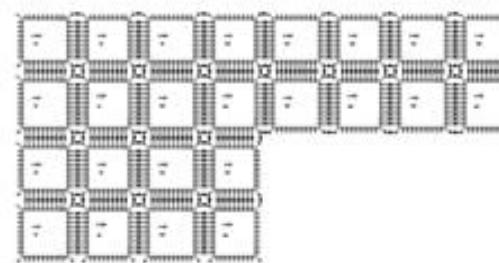
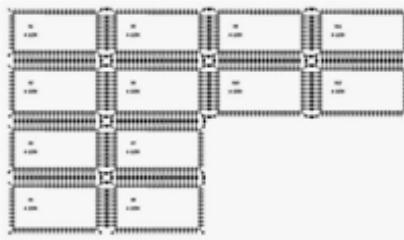
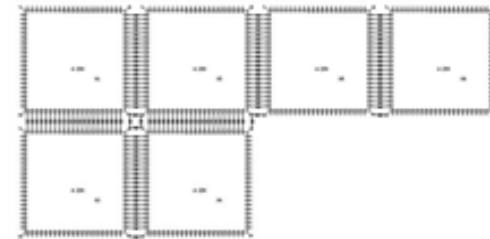
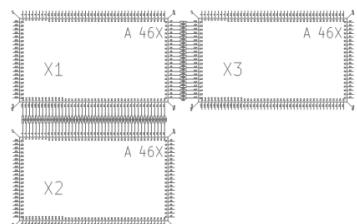
Pour le calcul de cet schéma 8.7 secondes environ de temps ont été nécessaires.

L'accélération est d'à peu près 19 et l'efficacité de 0.48

Ensuite on présente les résultats du calcul des tensions des branches du schéma. Le point séparé correspond à la valeur de tension sur une branche du réseau total



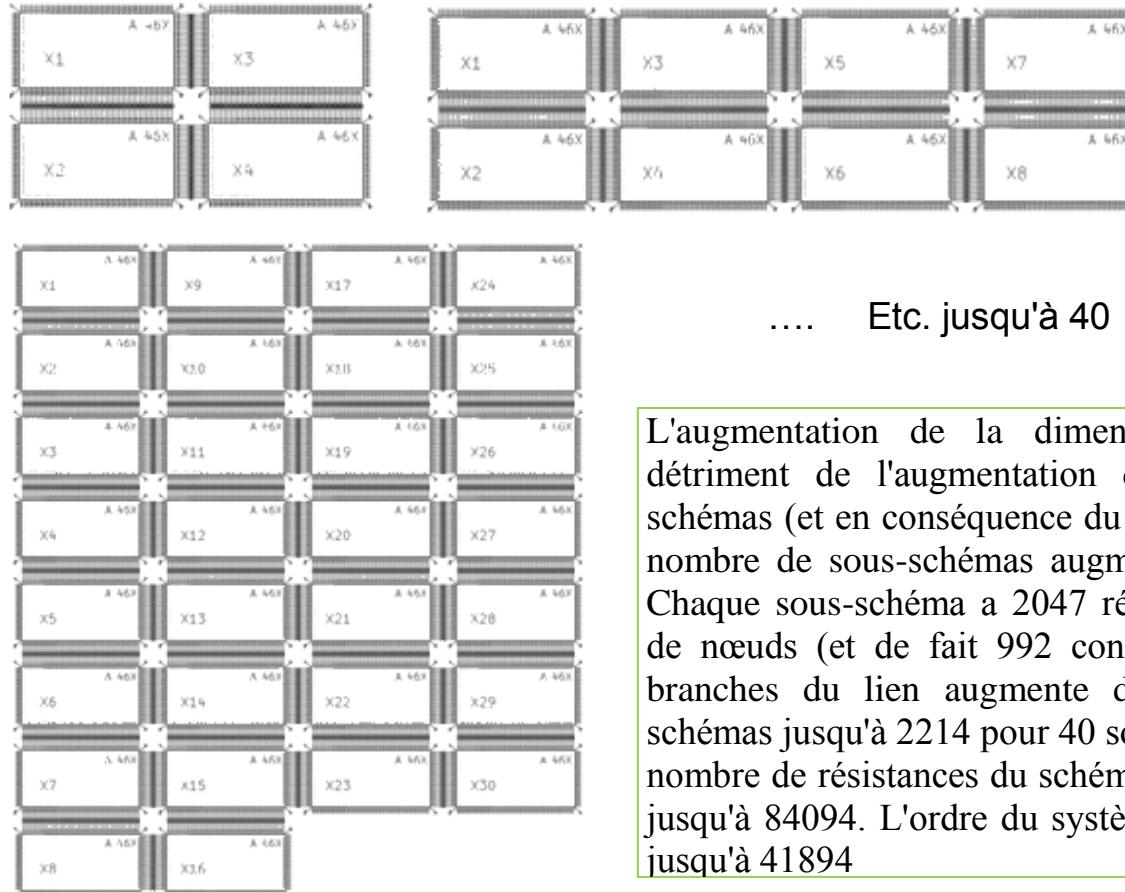
Test: le grand schéma se divisait en différents nombres de sous-schémas



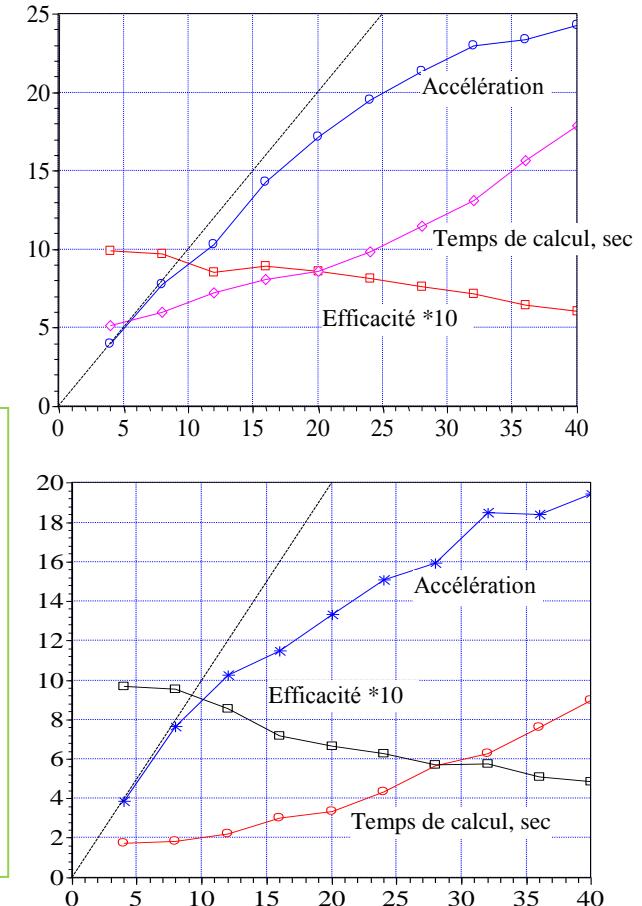
Le nombre total des résistances restait identique (la dimension du système ne changeait pas). Le schéma se divisait en 3, 6, 12 et 24 parties. Le nombre total des résistances restait environ égal à 6200, l'ordre du schéma était d'environ 3100. Avec l'augmentation du nombre de sous-schémas, leur dimension diminue alors que la dimension du réseau des intersections augmente.

1, 2, 3 - Accélération; 4, 5, 6 - Efficacité *10; 7, 8, 9 - Temps, sec; 10 - nombre total de résistances des liens divisé par 100. Au découpage du schéma le nombre de liens a augmenté de 65 jusqu'à 410. Les lignes continues correspondent aux calculs sans IMKL (Intel Math Kernel Library 10.3); les lignes interrompues correspondent aux calculs avec IMKL pour le calcul des matrices inverses; les lignes pointillées correspondent aux calculs avec IMKL pour la méthode de Gauss

Test: l'augmentation de la dimension du schéma au détriment de l'augmentation du nombre de sous-schémas



L'augmentation de la dimension du schéma au détriment de l'augmentation du nombre de sous-schémas (et en conséquence du nombre de cœurs). Le nombre de sous-schémas augmente de 4 jusqu'à 40. Chaque sous-schéma a 2047 résistances, 1055 paires de noeuds (et de fait 992 contours). Le nombre de branches du lien augmente de 130 pour 4 sous-schémas jusqu'à 2214 pour 40 sous-schémas. Ainsi, le nombre de résistances du schéma a augmenté de 8318 jusqu'à 84094. L'ordre du système a augmenté de 4098 jusqu'à 41894

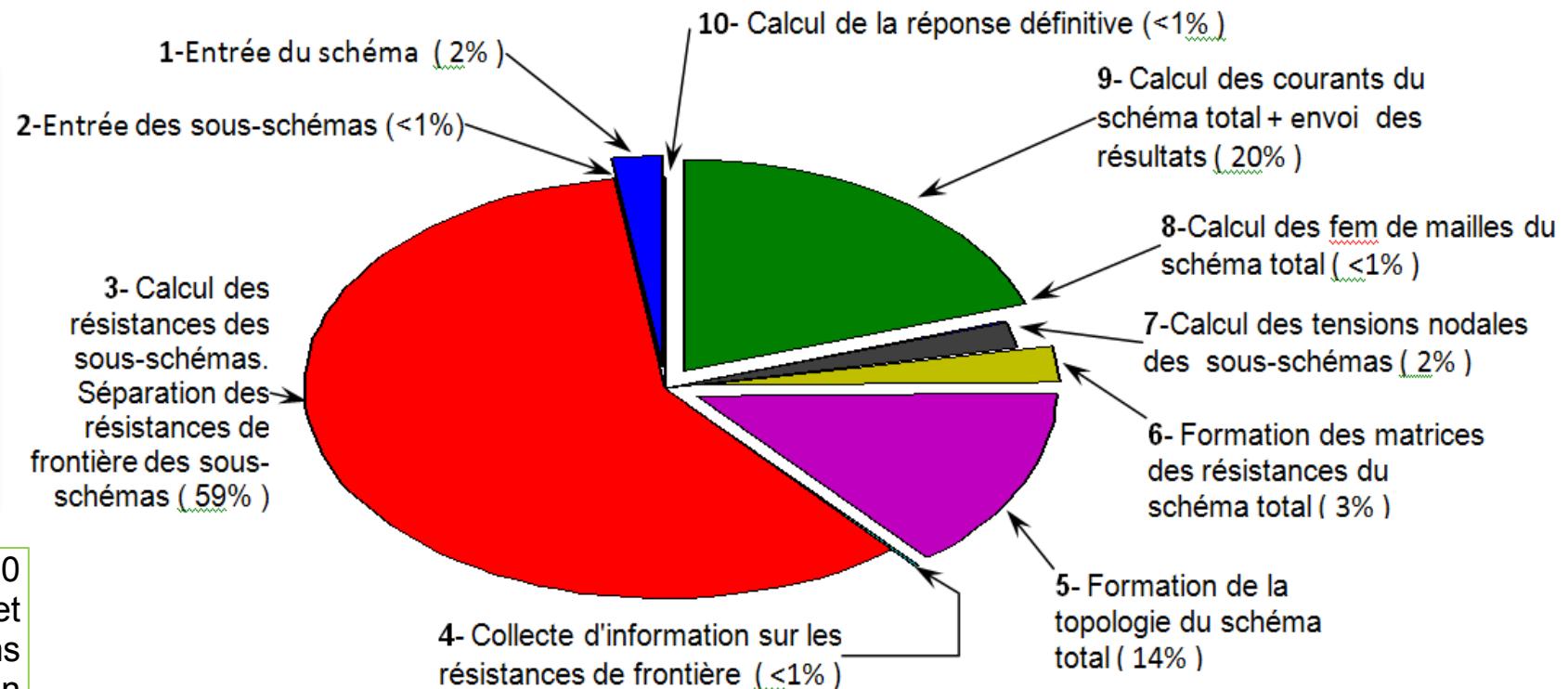


Sur le dessin supérieur on présente les résultats du calcul dans le domaine complexe, sur le dessin inférieur on présente les résultats du calcul dans le domaine matériel. Dans les deux cas on applique la méthode de Gauss pour le schéma total.

Le diagramme de la distribution du temps du calcul



Le schéma comprend 40 sous-schémas identiques et 2047 résistances dans chaque sous-schéma en topologie cellulaire (le nombre de branches est de 81880).



Les temps de calcul pour chaque étape du calcul de ce schéma sont présentés sur le diagramme circulaire ci-dessus (les noms des étapes correspondant au tableau sont présentés à la page 17). L'accélération est égale 24, l'efficacité est de 0.6, le temps de calcul est 18 sec (*pour le calcul dans le domaine des fréquences - avec les nombres complexes*).

La programmation sur coarray Fortran

Collecte d'information sur les résistances de frontière

I marquage, la distribution de la mémoire

```
complex(8), allocatable :: ZSEQ(:) [:]
complex(8), allocatable:: Z(:, :, :)
..... marquage.....
allocate ( Z( N1,N1) )
allocate( ZSEQ(N2) [*] )
```

**III collecte des données à 1 image
(successive)**

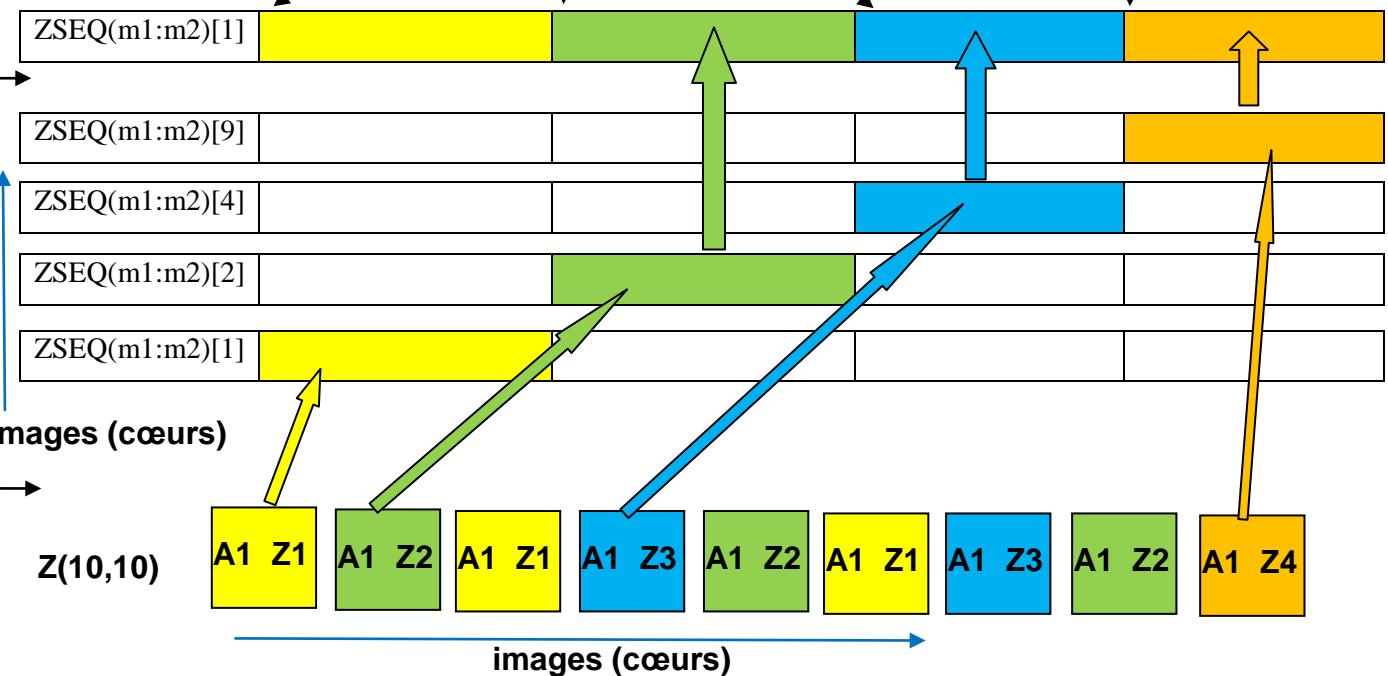
```
np = this_image()
sync all
if (inf(1,np) /= 0 .and. np /= 1 ) then
    m1 = inf(10,np)
    m2= m1 + inf(6,np)*inf(6,np)-1
    ZSEQ (m1:m2) [ 1 ] = ZSEQ (m1:m2)
endif
sync all
```

**II remplissage ZSEQ sur chaque image
(parallèlement)**

```
if (inf(1,np) /= 0) then
    m = inf(10,np)
    do j = 1,inf(6,np)
        do k = 1,inf(6,np)
            ZSEQ (m) = z(k,j); m = m + 1
        enddo
    enddo
endif
```

La carte de la distribution des masses

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
name	X8	X1	X6	X7	X9	X5	X4	X3	X2
mod	Z1	Z2	Z1	Z3	Z2	Z1	Z3	Z2	Z4
inf1	1	2	0	4	0	0	0	0	9
inf10	1	101	0	201	0	0	0	0	301



Les sous-schémas identiques selon la structure (A1) ont les modifications des résistances (Zi)

Calcul des courants du schéma total + envoi des résultats

```

call cpu_time( tm(5) )
if ( this_image() ==1 ) then
    do J = 1, JPS
        dum = vim(J)
        do k = 2, num_images()
            dum = dum + vim (J) [k]      ! La collecte d'information sur les tensions sur les noeuds de frontière
        enddo
        vim(J) = dum
    enddo

! L'appel des procédures des bibliothèques MKL pour le calcul du système des équations linéaires par la méthode du Gauss
allocate( ipvtZ(JPS) )
call zgetrf ( JPS, JPS, ZM(1: JPS,1: JPS), JPS, ipvtZ, info )
call zgetrs ( 'N', JPS, 1, ZM(1: JPS,1: JPS), JPS, ipvtZ, vim(1: JPS), JPS, info )

sync images (*)          ! Le signal de la 1-er image sur l'achèvement des calculs
else                     ! Sur les autres images:
    sync images (1)       ! L'attente du signal de la 1-er image
    vim (1:JPS) = vim (1:JPS) [1] ! L'envoi des résultats du calcul des courants du schéma total aux autres images
endif
call cpu_time( tm(6) )    ! La fixation du temps de processeur

```

Les lignes bleues se rapportent aux opérations de la gestion et la synchronisation
 Les lignes rouges se rapportent aux opérations de l'échange des données entre les processeurs

La technologie de la programmation parallèle coarray Fortran est insérée dans la syntaxe du langage de programmation et est très simple pour l'utilisateur !

La gestion des calculs parallélisés au laboratoire Intel(R) Manycore TestyngLab;

Le contenu du fichier de paquet *paquet

```
#!/bin/sh
# 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
x=(4 8 12 16 20 24 28 32 36 40)
m=0 n=9
h=`pwd`
while [ $m -le $n ]
do
k=${x[$m]}
m=`expr $m + 1`
qsub -l select=1:ncpus=1:mem=32GB -v nom=$m,imag=$k,p=$h myjob
done
```

Sur quelle quantité d'images on accomplira le calcul

Les données sur la quantité d'images sont transmises au fichier avec le travail myjob

Les contenus du fichier avec le devoir pour le calcul *myjob

```
#!/bin/sh
#PBS -N myjobTEST
#PBS -j oe
#PBS -l walltime=0:00:30

export FOR_COARRAY_NUM_IMAGES=$imag
source /opt/intel/composer_xe_2011_sp1.7.256/bin/compilervars.sh intel64

/home/yuri/cdielgt -b/home/yuri/DATABASE/ -tINV -n$nom -f${p}/in-${imag}.cir
```

Variable d'environnement FOR_COARRAY_NUM_IMAGES, établit le nombre des images

Path et nom du logiciel

Path vers la base de données avec la description des sous-schémas

L'information auxiliaire

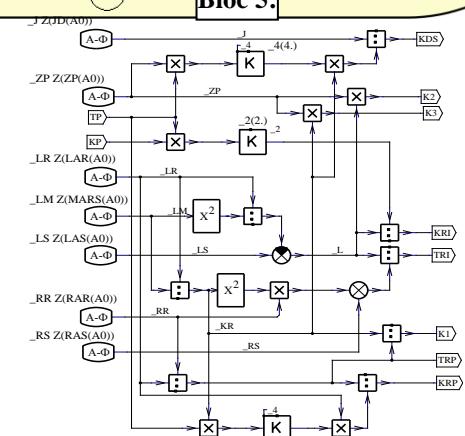
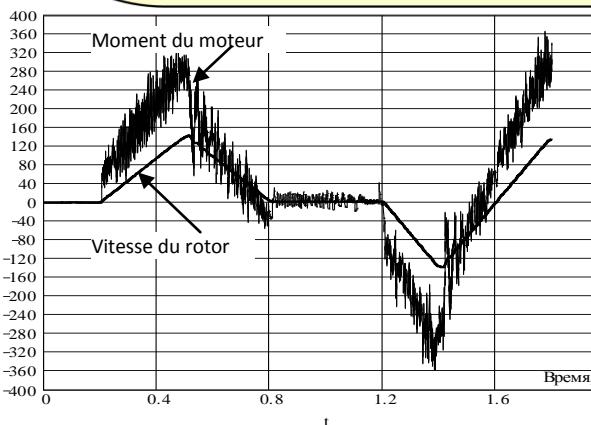
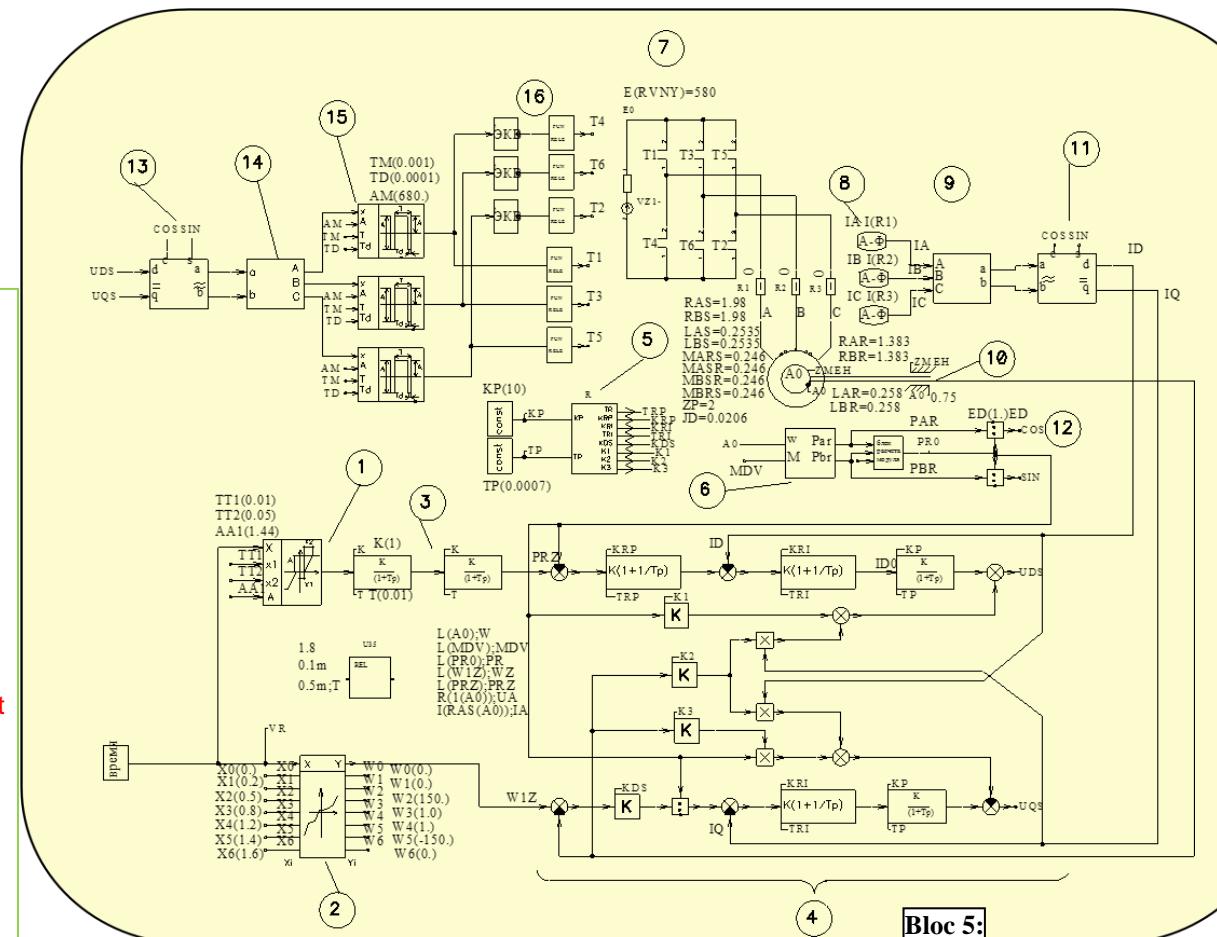
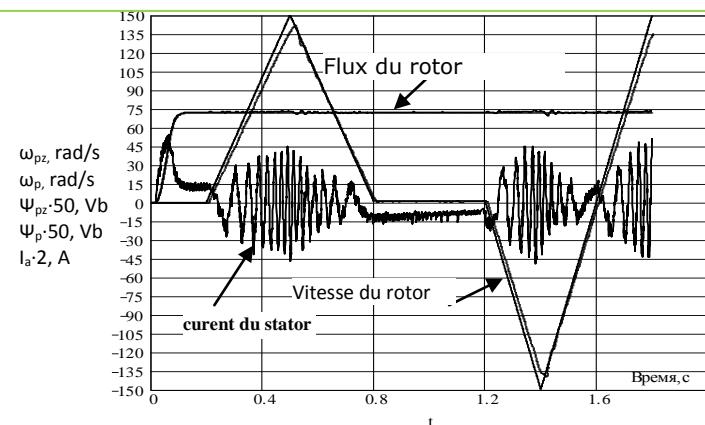
Le nom du fichier avec du netlist doit contenir la quantité de sous-schémas

La quantité d'images doit être égale à la quantité de sous-schémas, mais la quantité d'images peut ne pas être égale à la quantité de coeurs.

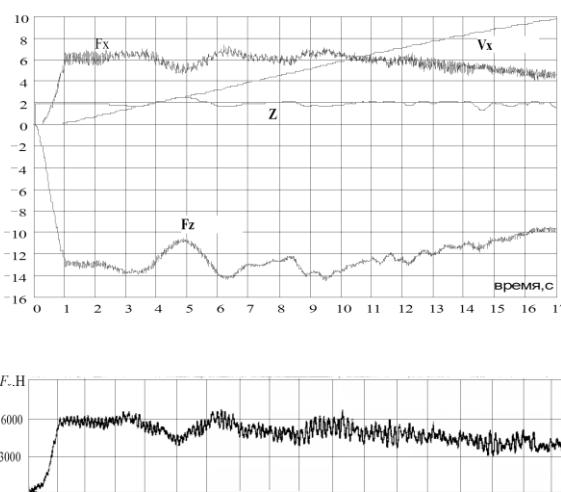
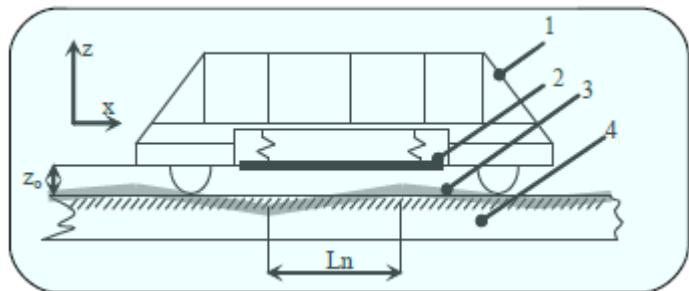
Les réalisations passées et futures;

La gestion vectorielle de moteur asynchrone sans détecteurs de la vitesse et sans détecteurs de flux magnétique (pour le laboratoire d'étudiant)

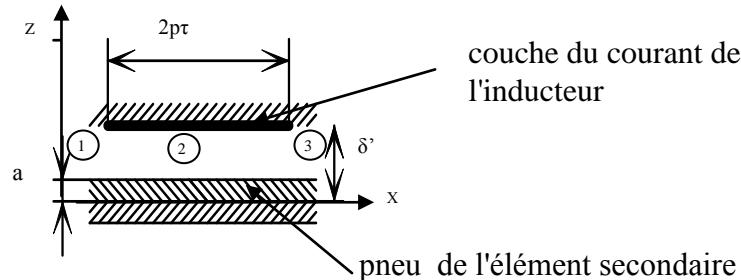
- 1, 2 - unité de commande de flux magnétique du rotor et la vitesse.
- 3 - le filtre du 2-ème ordre dans le canal de flux magnétique du rotor pour lissage de variable de commande;
- 4 - le schéma des régulateurs et les blocs de la compensation des liens croisés;
- 5 - le bloc du réglage automatique des coefficients des régulateurs;
- 6 - les blocs du calcul du modèle mathématique du moteur à induction;
- 7 - le modèle du schéma d'onduleur autonome avec les clés commandées;
- 8 - les modèles des détecteurs du courant des phases du stator du moteur;
- 9 - le bloc de la transformation des courants du stator du système triphasé des coordonnées vers immobile biphasé;
- 10 - le modèle de la friction visqueuse sur l'arbre du moteur;
- 11 - le bloc de la transformation des courants du stator du système biphasé immobile des coordonnées vers système biphasé des coordonnées tournant à la vitesse de la rotation du vecteur de flux magnétique du rotor;
- 12 - l'analyseur trigonométrique;
- 13, 14 - les transducteurs de coordonnées de la tension du système tournant biphasé des coordonnées vers système triphasé immobile des coordonnées;
- 15 - les modèles des transducteurs avec modulation d'impulsions en durée
- 16 - les blocs de gestion logiques des clés



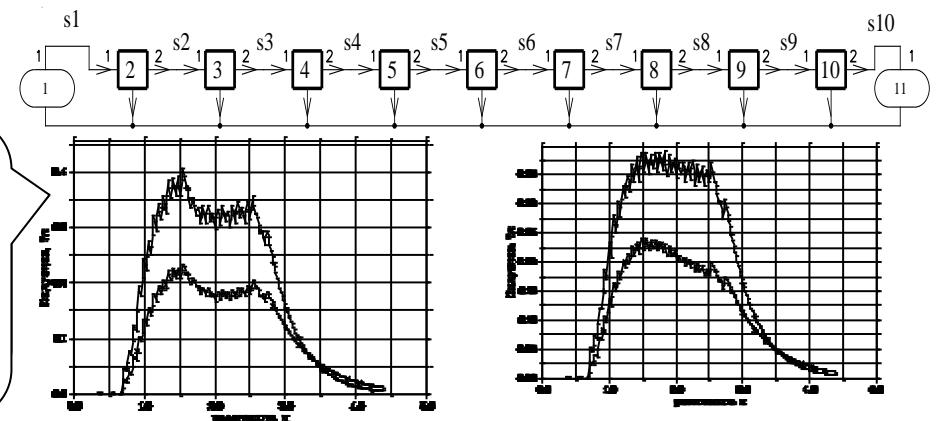
commande électrique de traction avec moteurs linéaires



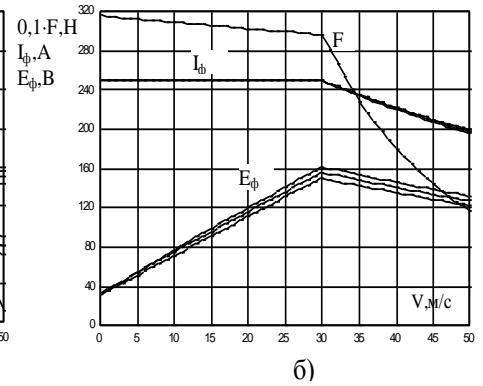
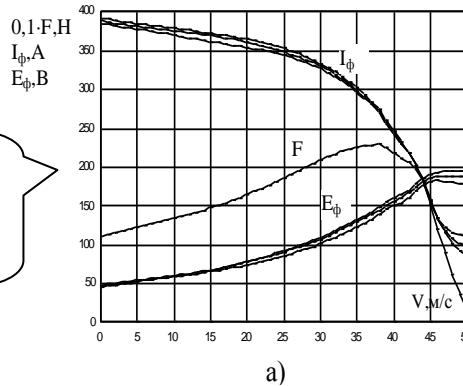
Les oscillogrammes de calculs de force de traction et de force normale et l'oscillogramme expérimental de la force de traction



La distribution de l'induction magnétique pour différents moyens de l'emballage des bobinages



Les caractéristiques énergétiques



Conclusion

L'expérience acquise lors des recherches de résolution des systèmes électrotechniques avec l'aide de l'analyse tensorielle des réseaux et de la diakoptique peut ensuite être utilisée sur des ordinateurs de grande puissance avec plusieurs processeurs et pour justifier des choix architecturaux des systèmes complexes électrotechniques.

contact : diakoptics@hotmail.com

Site personnel: <http://www.diakoptics-fr.narod.ru>

Merci!

Yuri Sohor