

EN STS ÉLECTROTECHNIQUE

Quatre partitions pour instrument numérique

CHRISTOPHE ULTRÉ ^[1]

Le numérique trouve sa place très naturellement en électrotechnique, aussi bien dans les apprentissages eux-mêmes, qu'il permet de recentrer sur l'essentiel, que dans la pédagogie, car il favorise l'autonomie et le travail collaboratif.

Dès que le monde de l'entreprise a saisi le potentiel de l'outil numérique tant du point de vue économique que de celui de la productivité, la bonne vieille table à dessin des bureaux d'études a cédé la place aux ordinateurs équipés de logiciels de DAO-CAO (dessin et conception assistés par ordinateur), induisant de nouvelles compétences pour les dessinateurs. En électrotechnique, cela a commencé par la réalisation des schémas électriques. Il n'est d'ailleurs pas rare encore aujourd'hui qu'un jeune fraîchement embauché commence sa période d'essai par la reprise en DAO d'anciens schémas faits « à la main » (instruments et normographe) **1**.

Dans l'enseignement de l'électrotechnique, le numérique est utilisé de très longue date, depuis les années 1986-1987 et l'apparition du logiciel AutoCAD Electrical, soit seulement une dizaine d'années après celle du tout premier PC. La CAO et le DAO (voir en encadré) se sont rapidement imposés comme des outils indispensables aux futurs techniciens et ingénieurs. Les étudiants ayant dans leur formation des périodes de stage en entreprise, le système éducatif se devait de proposer des formations qui intègrent ces outils.

Alors, comment l'outil numérique impacte-t-il notre pédagogie en STS électrotechnique ? On constate qu'une dichotomie apparaît clairement entre l'outil numérique de CAO et DAO que l'enseignant technique doit maîtriser, didactiser et enseigner à ses étudiants, et l'outil numérique que le professeur exploite pour asseoir sa pédagogie d'une nouvelle manière. Au regard de ce constat, nous proposons quatre façons, non exhaustives, d'utiliser l'instrument numérique pour jouer un air d'électrotechnique : le schéma électrique (DAO), le calcul d'installations (CAO), la programmation des automates et les outils numériques nouveaux vecteurs de méthodes pédagogiques.

[1] Professeur d'électrotechnique.

mots-clés

électrotechnique, outil & méthode, postbac

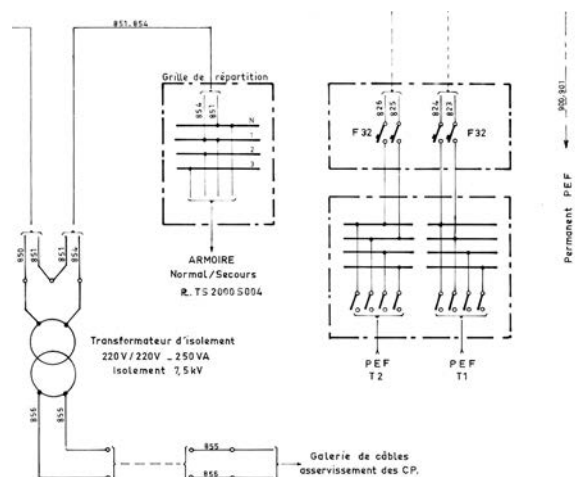
Le schéma électrique (DAO)

Auparavant, un schéma fait à la main sur un calque était figé, c'est-à-dire qu'une modification ou une correction étaient quasi inenvisageables. Cette situation aboutissait régulièrement à des schémas comprenant des parties fausses car trop compliquées à reprendre. Sans compter que leur duplication induisait également des problèmes de lecture **2**.

Le rédacteur de schémas devait apprendre une bibliothèque de symboles par cœur. Dans les formations, l'acquisition de ces symboles était chronophage, et se faisait au détriment de l'apprentissage des fonctions du schéma électrique et de la manière de les mettre en œuvre pour répondre aux besoins du client.

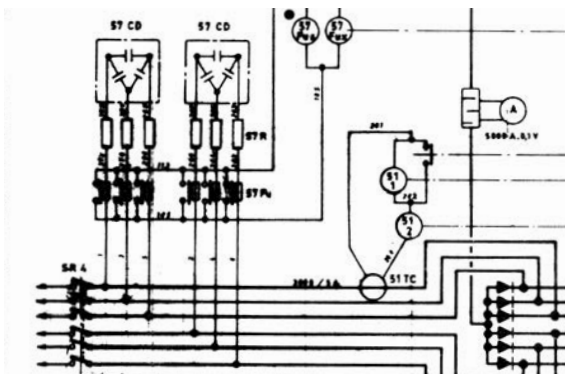
Avec l'arrivée des logiciels de DAO, la pédagogie du schéma électrique a changé. Les logiciels vont permettre d'automatiser, sans erreur possible, un certain nombre de tâches fastidieuses. Voici une liste, non exhaustive, de renseignements générés automatiquement par le logiciel de DAO **3 4** :

- Repérage des fils équipotentiels NF C 04-200
- Repérage des bornes dépendantes du matériel NF C 04-445
- Création des borniers
- Références croisées NF C 03-231-1
- Renvois de folios
- Cartouche
- ...



Note : Dans le cas d'installation de CS sur une ligne n'étant pas à récupération, il n'y a pas lieu d'utiliser d'alimentation 220V sécurisée ni transformateur d'isolement. Le circuit 850, 851 doit alors être directement amené à la galerie de câbles.

1 Schéma fait « à la main » (1977)



2 Schéma devenu illisible après duplication (1985)

On se rend compte que l'apprentissage des symboles devient inutile. L'étudiant a accès à une bibliothèque renseignée avec un vocabulaire qu'il connaît 5. Il peut se concentrer sur les fonctions qui vont lui permettre de résoudre son problème. La connaissance des symboles se fera naturellement avec le temps.

Les modifications, les corrections et les évolutions sont possibles. Le changement d'une norme de représentation d'un appareillage ou la création de nouveaux symboles ne rendent pas le schéma initial obsolète. Le logiciel va intégrer les changements par la mise à jour de sa base de données, disponible en téléchargement. L'actualisation du schéma se fait automatiquement.

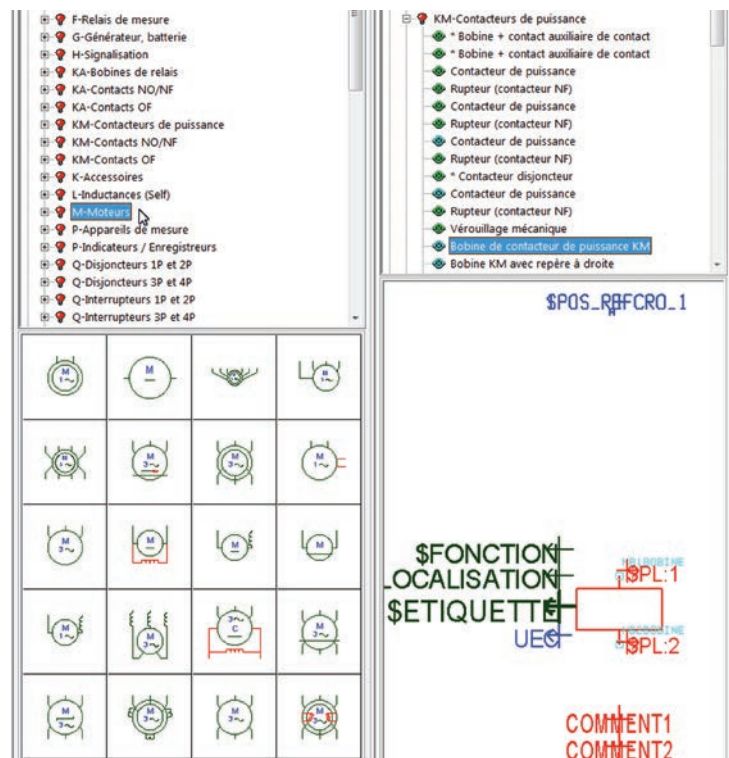
Cet outil de DAO permet donc à l'étudiant d'évoluer plus rapidement vers la réponse au problème posé, sans s'encombrer de l'apprentissage du savoir-faire de tâches fastidieuses, qui pouvait prendre plusieurs semaines, et de la connaissance par cœur des normes de représentation d'un schéma électrique. Le professeur peut mettre à profit ce gain de temps pour aborder plus de schémas (puissance, commande, commande par API, relais de sécurité, etc.).

Le calcul d'installations (CAO)

Avant l'arrivée des outils numériques, le dimensionnement d'une installation nécessitait l'utilisation de méthodes de calcul qui faisaient appel à des formules, des abaques, des caractéristiques de matériels, des tables, etc. Pour que l'étudiant s'approprié ces méthodes, il faut nécessairement en passer par la décomposition du calcul global en une suite de calculs élémentaires ; puis, pour chaque calcul élémentaire, par la répétition d'exercices identiques à partir d'exemples différents. Ces répétitions ont tendance à générer chez nos étudiants une lassitude impropre à l'apprentissage de leur futur métier.

Partons de l'hypothèse que le calcul d'une installation se décompose selon les calculs élémentaires suivants :

- Bilan des puissances de l'installation
- Choix des calibres des dispositifs de protection
- Choix des sections de câble
- Calcul du courant de court-circuit maximal pour le choix du pouvoir de coupure du disjoncteur
- Calcul du courant de court-circuit minimal pour le réglage du déclencheur magnétique
- Calcul de la chute de tension dans le câble



5 Bibliothèque de composants

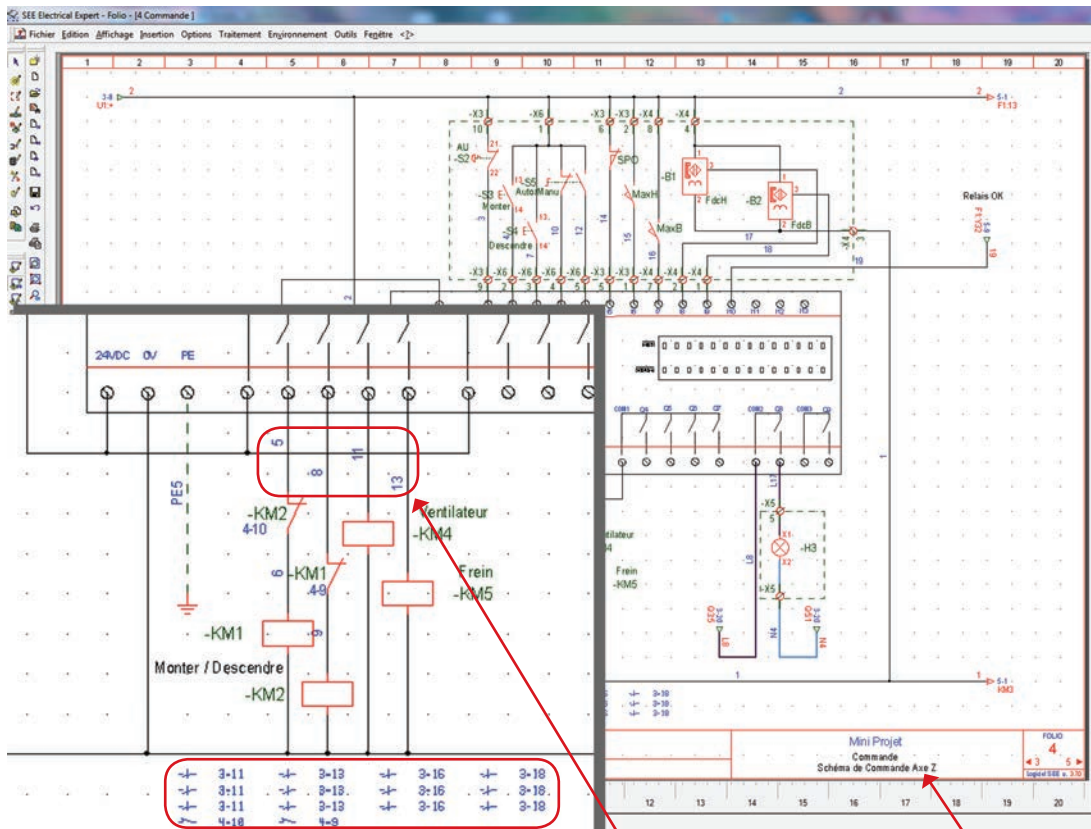
Pour chacune de ces étapes, il va falloir répéter l'exercice trois, voire quatre fois pour couvrir un maximum de situations réelles que l'étudiant rencontrera dans sa profession. Prenons l'exemple de la méthode pour choisir la section d'un câble (voir en encadré). La démarche est fastidieuse, et les sources d'erreurs très nombreuses.

Ce simple constat rend évident l'intérêt du logiciel de CAO. Là encore, l'automatisation du calcul va rendre le travail de l'étudiant bien plus intéressant. Pédagogiquement, l'intérêt est double. Le professeur ne va plus procéder à des répétitions, le calcul sur feuille est fait une fois pour comprendre le mécanisme utilisé par le logiciel pour aboutir au résultat. Puis il va ensuite exploiter les résultats du logiciel en prenant du recul afin de revenir aux connaissances fondamentales : qu'est-ce qu'un court-circuit, qu'engendre-t-il... ? L'étudiant va pouvoir ainsi sortir la tête du calcul et se réapproprier la signification de ce sur quoi il travaille.

Il va donc traiter des exemples en autonomie, dans un premier temps sur feuille, puis avec le logiciel de CAO. Il va ensuite pouvoir contrôler seul la validité de son calcul en remplissant les champs de la fiche circuit avec les données du problème 6, le professeur intervenant seulement si les résultats ne coïncident pas. On évite ainsi la sensation de déjà-vu intervenant lorsque le professeur corrige pour la énième fois un énième exemple.

La programmation des automates

Le projet de deuxième année en STS électrotechnique implique la programmation d'un automate. Là encore, la puissance de calcul de l'outil numérique va nous permettre une évolution prodigieuse de notre façon d'enseigner les automatismes industriels. En effet, de



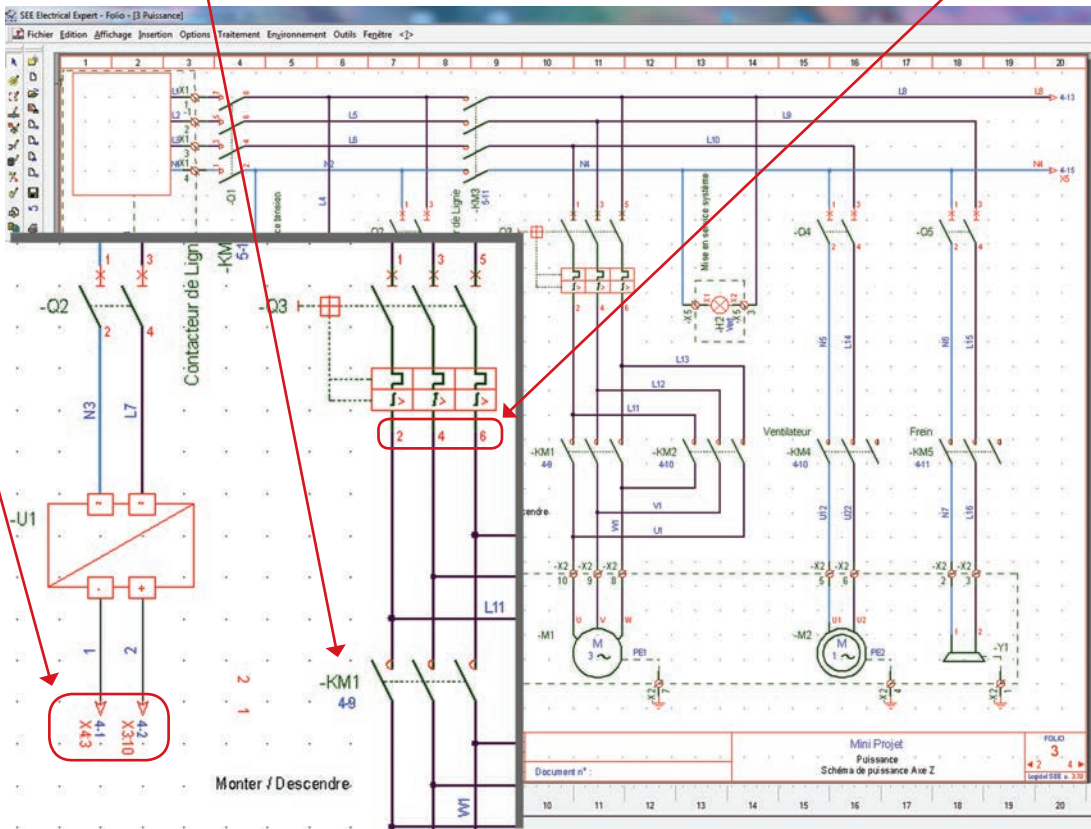
3 Schéma de commande

Renvois de folios

Références croisées

Numéros de fils

Cartouche



4 Schéma de puissance

Repérage des bornes

plus en plus de logiciels de programmation d'API (automate programmable industriel) intègrent la possibilité de simuler le fonctionnement du programme.

Il n'y a pas si longtemps, il fallait en passer par un pupitre de simulation qui mobilisait un automate et qui n'était pas disponible pour chaque groupe de travail **7**. À moins de multiplier ces pupitres, ce qui pouvait se révéler assez coûteux. L'utilisation du pupitre sous-tendait un niveau d'abstraction difficile à atteindre pour des débutants. Comment faire le lien entre mon action, « j'appuie sur un bouton-poussoir », et le résultat du programme, « un voyant s'allume », en suivant un grafset dessiné sur une feuille ? Mettons que mes constatations soient différentes du résultat attendu. Le problème vient-il du programme ? Ai-je suivi correctement les étapes ? Un programme ou un grafset sont toujours corrects sur le papier...

Dorénavant, avec les logiciels, ces problèmes sont derrière nous. Le pupitre est dématérialisé. On attribue la valeur 0 ou 1 à une entrée TOR en cliquant dessus, ou une valeur numérique pour une entrée analogique dans une fenêtre de paramétrage (ce qui était difficile à réaliser sur un pupitre matériel). L'état des sorties est immédiatement visible, de même que l'évolution du grafset. On peut contrôler à tout moment que le programme répond à nos attentes **8**.

Les logiciels de simulation d'automatisme les plus performants proposent même de créer une partie opérative virtuelle qui va décrire le comportement de la machine tel qu'il serait « IRL » (*in real life*, dans la vraie vie), comme disent nos étudiants (voir Philippe Taillard, « Jouons avec l'automatisme », *Technologie*, n° 164, nov.-déc. 2009).

Les outils numériques, nouveaux vecteurs de méthodes pédagogiques

L'ensemble de ces outils va également nous permettre de modifier en profondeur la pédagogie de l'enseignement technique.

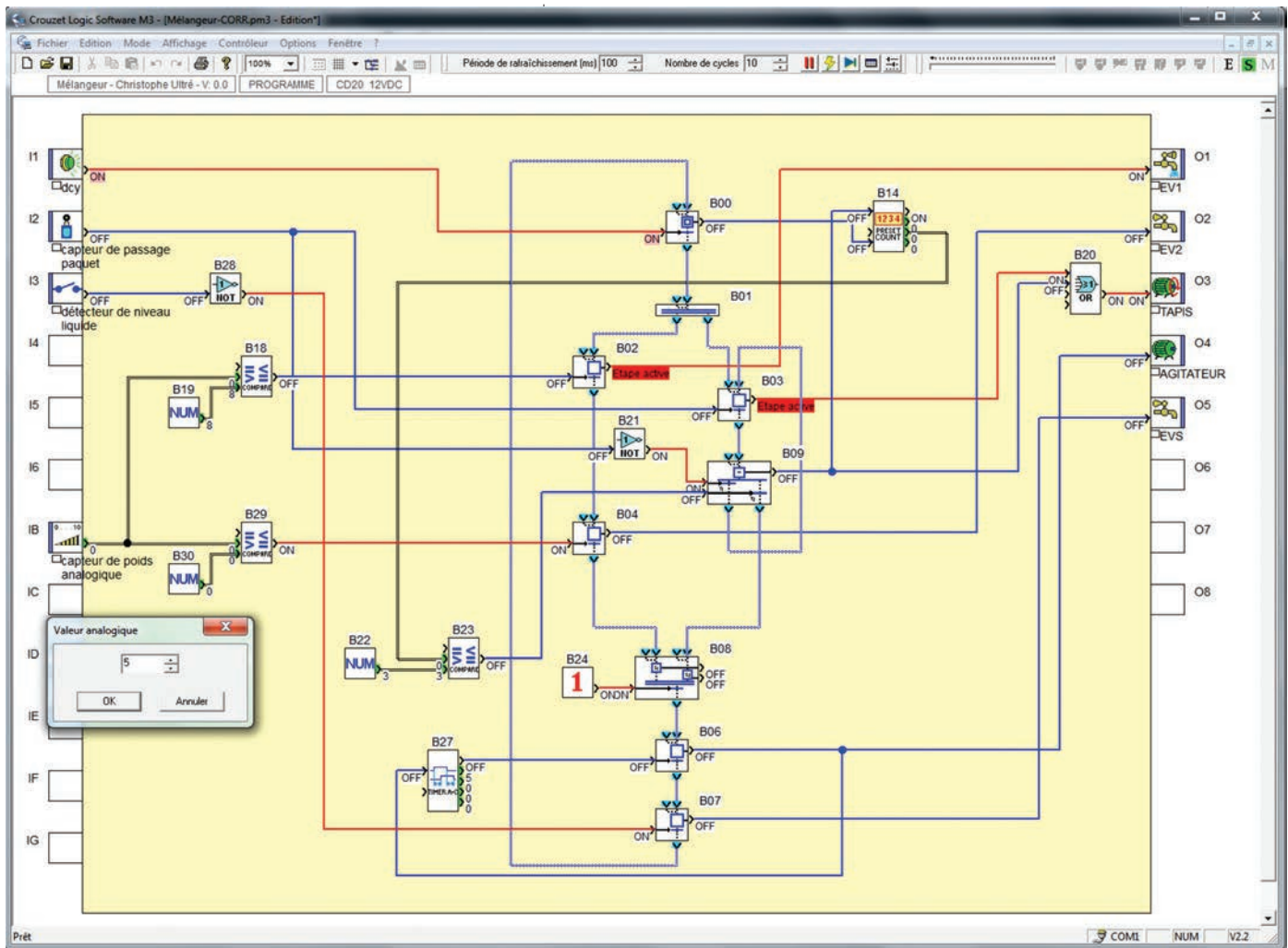
L'ordinateur s'immisce dans la relation entre étudiants et professeur, et sert de relais à ce dernier, notamment pour le travail à la maison. La plupart des logiciels utilisés proposent une version d'évaluation gratuite téléchargeable sur Internet. Avec un tutoriel ou un didacticiel, les étudiants vont pouvoir s'appropriier le logiciel chez eux, avant de venir en TD ou TP, dans une logique de classe inversée. Ils sont plus autonomes et se concentrent davantage sur des tâches essentielles. Leur travail est plus attrayant, et se rapproche d'une vraie activité de professionnel en conception.

De plus, l'utilisation de ces logiciels permet également au professeur d'insister sur l'aspect colla-

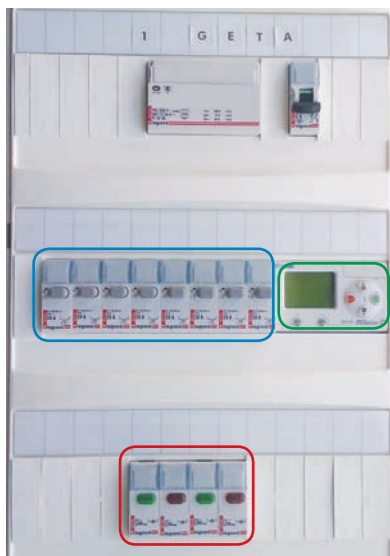
The screenshot displays the Alpi Caneco BT software interface. A central window titled "Calcul du coefficient de proximité pour le mode de pose 13" is open, showing a calculation result of 0,73. A red circle highlights the text "Votre liaison comporte actuellement 1 circuit(s)" and "Nb de circuits joints supplémentaires". Below this, a table lists cable specifications: "Câble 4X70+G50", "Neutre", "PE ou PEN", "Critère IN1", "Longueur Max. 138 m (CI)", "IB 136,0 A", "STH 59,7 mm³", and "IZ 150,6 A".

Another window, "Fiche circuit DÉPART 1 sur TGBT", is also visible, showing detailed configuration for a heating circuit. It includes fields for "Amont", "Circuit", "Sélectivité par courbes", "Coordination Câble/Protection", and "Données complémentaires". A red circle highlights the "Câbles" section, which shows "Longueur: 50 m", "Type: U1000R2V", "Ame: Cu", "Pose: 13 Sur chemin de câb", and "Pôle: Multi/Unj". The "Conducteurs" section shows "Phase: 1 70 mm²", "Neutre: 1 70 mm²", and "PE: 1 50 mm²".

6 Feuille de calcul sur le logiciel Alpi Caneco BT. On y retrouve, entre autres, le résultat du calcul de la section (cercle rouge) : 70 mm² (voir en encadré)



8 Programme API en cours de simulation. On voit dans cet exemple les variables TOR (entrées ou sorties, niveau 0 en bleu, niveau 1 en rouge), les étapes actives du grafctet, une variable analogique en cours de modification



7 Pupitre pour l'essai des programmes d'un automate Crouzet Millenium (cadre vert). Les entrées (cadre bleu) sont simulées par des boutons-poussoirs. Les sorties (cadre rouge) sont simulées par des voyants

boratif de leur travail en soulignant la possibilité de partager un document ou de fusionner un ensemble de documents partiels élaborés individuellement. On s'affranchit également de la contrainte du rendu du devoir papier au professeur en un lieu et à un moment donnés. L'étudiant poste, quand il le veut, son fichier sur une plate-forme de mise en commun des documents avant une date fixée conjointement. ■

CAO et DAO

En électrotechnique, le DAO est souvent indépendant de la CAO. En effet, les logiciels de DAO servent à produire des schémas développés qui vont permettre de comprendre la fonction du système étudié, puis d'élaborer des plans de réalisation et des schémas pour la maintenance, mais ces logiciels ne donnent que rarement des résultats de calculs. Ces derniers sont plutôt obtenus grâce aux logiciels de CAO, avec lesquels on conçoit généralement un schéma minimal de distribution. Une fois ce schéma réalisé et les paramètres de l'installation saisis (puissance des équipements, type de distribution, schéma des liaisons à la terre, etc.), le programme va aboutir à une fiche de calculs qui va donner le dimensionnement de tous les éléments de l'installation.

Exemple d'un choix de section de câble selon la NF C 15-105

Données du problème nécessaires à la détermination de la section de câble :

- Circuit triphasé + neutre protégé par un disjoncteur industriel
- Courant d'emploi $I_b = 136$ A avec un taux d'harmoniques de rang 3 et multiples de 3 supérieur à 15 % et ne dépassant pas 33 %
- Mode de pose : chemin de câbles perforé
- Câble de type U-1000 R2V multiconducteur -
- 7 circuits jointifs
- Température ambiante : 30 °C

À partir de ces éléments, nous allons chercher les facteurs de corrections f_1 , f_2 et f_3 qui vont nous permettre de calculer le courant fictif I'_z qui circule dans la canalisation et qui rend compte de son échauffement.

Le tableau BC de détermination des courants admissibles en fonction des modes de pose nous permet de déterminer :

- Le mode de pose : n° 13 (en rouge)
- La méthodes de référence : E (en vert)
- Les tableaux où nous allons trouver les facteurs de corrections à appliquer (en bleu)

Réf.	Exemple	Description	Méthode de référence		Référence des tableaux de facteurs de correction	
13		Sur des chemins de câbles ou tablettes perforées, en parcours horizontal ou vertical	E	F	BF1	BG1 Réf. 4

La détermination des courants admissibles en fonction des modes de pose

Le tableau BF1 des facteurs de correction pour des températures ambiantes différentes de 30 °C nous permet de déduire que, comme la température du circuit n'est pas différente de 30 °C, le facteur de correction $f_1 = 1$.

Le tableau BG1 des facteurs de correction pour groupement de plusieurs circuits ou de plusieurs câbles multiconducteurs nous permet de déterminer que $f_2 = 0,73$ (cercle bleu).

Réf.	Disposition de circuits ou de câbles jointifs	Facteur de correction											Méthodes de référence	Modes de pose
		Nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16		
3	Simple couche au plafond	1,00	0,85	0,76	0,72	0,69	0,67	0,66	0,65	0,64	Pas de facteur de réduction supplémentaire pour plus de 9 câbles	C	11A	
4	Simple couche sur des tablettes perforées	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72		E, F	13	
5	Simple couche sur des échelles à câbles, corbeaux, treillis soudés, etc.	1,00	0,88	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78			14, 16, 17	

Les facteurs de correction pour le groupement de plusieurs circuits ou de plusieurs câbles multiconducteurs

Le dernier facteur de correction se limite au fait que le neutre est chargé, $f_3 = 0,84$.

Le réglage du déclencheur thermique du disjoncteur industriel est réglé au plus proche de I_b :

$$\text{position du curseur de réglage (0,9) } \times \text{ calibre du disjoncteur (160) } = I_r = 144 \text{ A}$$

$$I'_z = I_r / (1 \times 0,73 \times 0,84) = 235 \text{ A}$$

On prend la valeur du tableau immédiatement supérieure, soit 246 A.

Le tableau BD des courants admissibles et de la protection contre les surcharges pour les méthodes de références B, C, E et F en l'absence de facteurs de correction nous donne la section du câble triphasé isolé en polyéthylène réticulé (PR3) à utiliser pour cette application : 70 mm² (cercle bleu).

Méthode de référence	Isolant et nombre de conducteurs chargés								
B	PVC 3	PVC 2		PR 3		PR 2			
C		PVC 3		PVC 2	PR 3		PR 2		
E			PVC 3		PVC 2	PR 3		PR 2	
F						PVC 2	PR 3		PR 2
S (mm ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cuivre									
35	110	119	126	138	147	158	169	185	200
50	134	144	144	168	179	192	207	225	242
70	171	184	184	213	229	246	268	289	310
95	207	223	223	258	278	298	328	352	377
120	239	259	259	299	322	346	382	410	437

Les courants admissibles et la protection contre les surcharges pour les méthodes de référence B, C, E et F en l'absence de facteurs de correction