



Laboratoire de câblage — **Armoires électriques industrielles** (module C1)

Niveau « collègue » : Travaux Pratiques

Notice pédagogique

SOMMAIRE

1 – Généralités	3
1.1. Positionnement dans la scolarité	3
1.2. Effectifs	3
1.3. Objectif global, structuration et thématique	3
1.4. Notions pré-requises	4
2 – Documentation	4
2.1. Constitution des sujets de travaux pratiques	4
2.2. Variantes pour la formation continue des électriciens professionnels	5
2.3. Documentation ressource mise à disposition des étudiants	5
2.4. Système de fichiers	5
3 – Conditions de sécurité	6
3.1. Conditions matérielles de sécurité	6
3.2. Consignes de sécurité	7
4 – Progression pédagogique du module	7
4.1. Connaissances théoriques	7
4.2. Compétences pratiques	8
5 – Inventaire des composants utilisés	10
5.1. Composants structurels	10
5.2. Appareillage de l'armoire	11
5.3. Appareillage du poste de commande et de simulation de capteurs	12
5.4. Composants de repérage	12
5.5. Composants de connexions sécurisées	13
5.6. Composants consommables	14
5.7. Outils de câblage	14
5.8. Instruments de mesure	15

Ce document s'adresse aux enseignants et assistants techniques qui vont organiser les travaux pratiques du module C1. Il a pour but de donner une vue pédagogique sur l'ensemble des séances et d'apporter toutes les informations complémentaires relatives à l'organisation matérielle du laboratoire, afin de mettre en œuvre les enseignements dans de bonnes conditions.

Toutefois sa lecture ne saurait à elle-seule tenir lieu de formation technique et pédagogique à ces personnels.

1 – Généralités

1.1. Positionnement dans la scolarité

Ce module a été conçu pour des étudiants en **3^e ou 4^e année de « collège »** dans le système éducatif kazakstanais (qui est lui-même inspiré du modèle américain). Il correspond en France au niveau de formation technique du « BEP en électrotechnique, énergie et équipements communicants », mais s'adresse à des étudiants plus autonomes et possédant une culture générale plus étendue, leur permettant de lire sans difficulté un questionnaire dense.

Par ailleurs, les sujets de travaux pratiques existent dans une version adaptée pour la formation continue des électriciens professionnels. Les questions écrites sont essentiellement les mêmes, mais présentées dans un document à remplir (cf. section 2.2). En revanche, les procédures de mise en service peut différer significativement.

Le module C1 doit être impérativement précédé d'une formation théorique et pratique à la **prévention des accidents électriques** (module C0). Il peut être directement suivi du module C2, consacré aux **départs-moteurs spéciaux**.

1.2. Thématique et objectif global du module

Le module C1 porte sur le câblage des **armoires électriques d'équipements industriels** simples, principalement des **systèmes motorisés à démarrage direct**.

Il se compose de **6 séances de 8 heures** chacune, soit au total, **48 heures** de formation, dans l'objectif de traiter **5 sujets de travaux pratiques** (un sujet par séance sauf le dernier, qui nécessite deux séances). Cette organisation est compatible avec une programmation hebdomadaire, sans immobiliser de matériel entre deux séances, de sorte que plusieurs groupes d'étudiants puissent se succéder dans une même semaine.

Chaque sujet s'inspire d'un thème industriel classique, pour en faire une simulation :

- ▶ TP n°1.1 : **éclairage d'un local sur 2 zones** (commande de récepteurs par contacteurs de puissance) ;
- ▶ TP n°1.2 : **machine rotative simple** (départ moteur direct à un seul sens de rotation) ;
- ▶ TP n°1.3 : **malaxeur chauffant** (révision des deux TP précédents) ;
- ▶ TP n°1.4 : **pont roulant** (départ moteur direct à deux sens avec temporisation au changement de sens) ;
- ▶ TP n°1.5 : **barrière coulissante** (révision des quatre TP précédents).

Avec un minimum de connaissances pré-requises (cf. la section suivante), les sujets de travaux pratiques permettent aux étudiants d'acquérir non seulement les **compétences pratiques** pour réaliser le câblage d'armoires électriques et en tester le fonctionnement sous tension de puissance, mais aussi les **connaissances « théoriques »** pour comprendre l'intégration dans les schémas de câblage des appareils les plus courants : disjoncteurs, contacteurs, relais thermiques, etc.

Le module C1 permet ainsi de former des techniciens polyvalents, capables d'intégrer aussi bien un atelier de production d'armoires qu'un bureau d'étude ou une équipe de maintenance.

Le contenu pédagogique des sujets de travaux pratiques est plus détaillé à la section la section 4.

1.3. Notions pré-requises

Hormis les connaissances et compétences acquises au module C0, les prérequis en électrotechnique pour suivre le module C1 se limitent aux **connaissances générales en électrocinétique** : notions de tension, de courant, de puissance, classification des appareils générateurs et récepteurs, représentation des circuits électriques, lois des

mailles et lois des nœuds, notion d'opérateurs et d'équation logique, etc. Si les questions font appel à des connaissances plus avancées (couplage d'un moteur, par exemple), des documents ressources viennent en appui.

1.4. Encadrement

Comme pour tous les travaux pratiques mettant en œuvre des énergies dangereuses, l'encadrement du module C1 ne doit être confié qu'à des enseignants ou des formateurs ayant :

- ▶ un spectre de connaissances et de compétences plus large que celui du module ;
- ▶ une autorité pédagogique suffisante pour garantir la sécurité des participants.

Il est fortement recommandé qu'avant d'encadrer seul un groupe, tout nouvel enseignant soit d'abord initié par un **stage d'observation** avec un collègue expérimenté, afin de prendre conscience des risques d'accidents et de connaître les méthodes pour les éviter.

1.5. Répartition des étudiants et effectifs conseillés

Pour des questions d'ergonomie des postes de travail et d'efficacité pédagogique, il n'est pas satisfaisant d'affecter plus de **deux étudiants par poste de travail** ; sachant que l'association en binôme de deux étudiants peut créer entre eux une bonne émulation, mais aussi parfois poser des problèmes d'équilibre dans la répartition du travail.

Même avec une telle organisation, il est difficile de dépasser un effectif de **12 étudiants** pour un enseignant. En effet, avec un temps impartis de 2 heures par sujet pour les réaliser les essais de puissance, on ne dispose que de 20 minutes pour chacun des **6 poste de travail**.

Pour les sessions de formation continue des électriciens professionnels, il est préférable que les stagiaires travaillent individuellement chacun sur leur poste. L'effectif ne devrait donc pas dépasser 6 stagiaires.

2 – Documentation

2.1. Constitution des sujets de travaux pratiques

Chaque sujet de travaux pratique est constitué de 3 documents, intitulées respectivement **spécifications techniques**, **travail demandé** et **réponses aux questions**.

▣ Les documents **spécifications techniques** comprennent tous :

- ▶ un texte (environ un page) de « **mise en situation** » avec une photo qui illustre le thème industriel et la description littérale du fonctionnement du système que les étudiants devront réaliser ;
- ▶ les **listes des composants** fournis (éléments structurels, appareillage, câbles sécurisés, consommables, outils, instrument de mesure).

Afin de minimiser les reprographies (cf. tableau ci-dessous), et aussi éviter la dissémination des méthodes pédagogiques, ces spécifications peuvent être regroupées dans un porte-document mis à la disposition des étudiants sur chaque poste de travail du laboratoire. Il est souhaitable que la page de mise en situation soit imprimée en couleur, pour rendre plus lisible la photographie d'illustration.

désignation	format	nb. pages du sujet de TP n°					nb. pages pour	
		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1 poste	6 postes
page de mise en situation	A4 couleurs	1	1	1	1	1	5	30
pages de listes des composants	A4 N&B	2	2	2	2	4	12	72

▣ Les documents **travail demandé** comprennent :

- ▶ une page regroupant en 4 parties (technologie, préparation du câblage, réalisation du câblage, mise en service) toutes les **questions** demandées aux cours de la séance, avec une indication du minutage conseillé pour

chaque partie ; les questions doivent être traitées dans l'ordre pour permettre aux étudiants de comprendre les principes du câblage qu'ils doivent réaliser ; sauf pour le sujet n°1.5, des questions subsidiaires sont prévues pour permettre aux étudiants les plus rapides d'approfondir leur travail ;

- ▶ une ou deux pages de **schémas électriques déployés** spécifiant le système à câbler ;
- ▶ pour les TP n°1.4 et 1.5, une page où figure un **chronogramme** qui permet d'illustrer la logique de fonctionnement du système ;
- ▶ une page où figure le **schéma d'implantation** de l'armoire électrique et du poste de commande à réaliser ;
- ▶ une page où figure le tableau d'**évaluation des activités pratiques** (identique pour tous les sujets).

Dans le sujet n°1.1, le schéma électrique est donné presque complet (seuls manquent quelques numéros) et le schéma d'implantation figure même une représentation filaire partielle. Ensuite, au fil des séances, les schémas électriques et les schémas d'implantation sont donnés de moins en moins complets. Cette progression se poursuivra au module C2 pour aboutir à la fin à des pages de schémas presque vides (idem pour les spécifications).

Ces documents doivent être reprographiés pour chaque étudiant (deux par poste). Pour faciliter leur remise à l'enseignant en fin de séance, il est conseillé de réunir la première page (questionnaire) et la dernière page (tableau d'évaluation) sur une même feuille au format A3 qui, pliée en deux, servira de chemise pour ranger les autres pages du sujet (au format A4) et les feuilles de réponses des étudiants. Cette solution est également plus satisfaisante qu'une reprographie au format A4 avec agrafage pour l'exploitation des documents, car il est souvent nécessaire mettre deux pages côte à côte pour les étudier.

désignation	format	nb. pages du sujet de TP n°					nb. pages pour	
		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1 poste	6 postes
questionnaire et tableau d'évaluation	A3 N&B	1	1	1	1	1	10	60
autres pages (schémas, chronogramme)	A4 N&B	2	2	2	3	4	26	156

Dans le tableau ci-dessus, le nombre de pages indiqué doit encore être multiplié par le nombre de groupes inscrits dans l'année universitaire pour pouvoir évaluer le coût maximal du module en terme de reprographies.

▣ Les documents **réponses aux questions** sont évidemment réservés aux enseignants ; incluant un **barème de notation**, ils fournissent les réponses à l'intégralité des questions technologiques et de préparation aux câblage, ainsi qu'une **représentation filaire** d'une solution pour le câblage des circuits de puissance et de commande.

Pour des questions de lisibilité, il est préférable que ces documents soient imprimés en couleur.

désignation	format	nb. pages du sujet de TP n°					nb. pages pour 1 enseignant
		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	
toutes pages	A4 couleurs	5	4	7	6	7	29

2.2. Variantes pour la formation continue des électriciens professionnels

Pour une bonne organisation des sessions de formation continue, il n'est pas souhaitable de demander aux stagiaires d'écrire les réponses aux questions sur des feuilles libres qu'ils devraient fournir. Si les spécifications et les schémas sont identiques, les questionnaires du document **travail demandé** sont adaptés, avec une police plus grande et l'aménagement d'espace les réponses entre les questions.

Sachant que les stagiaires travaillent individuellement sur poste, et en adoptant la même organisation pour l'assemblage des documents, le tableau ci-dessous indique le volume des reprographies pour un groupe de 6.

désignation	format	nb. pages du sujet de TP n°					nb. pages pour	
		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1 poste	6 postes
1 ^{ère} page du questionnaire et tableau d'évaluation	A3 N&B	1	1	1	1	1	5	30
autres pages du questionnaire et schémas	A4 N&B							

2.3. Documentation ressource mise à disposition des étudiants

En plus des documents spécifiques à chaque sujet de TP, les étudiants peuvent consulter des **notices didactisées** pour pouvoir trouver en autonomie les éléments de réponse à leur question, notamment sur :

- ▶ les **outils** de câblage et les instruments de mesure utilisés (notamment le détecteur de tension) ;
- ▶ les **appareils** de l'armoire et du poste de commande ;
- ▶ les **méthodes** pratiques de câblage : montage et de démontage des appareils, travail des fils, etc.

Basées principalement sur les documents techniques des constructeurs, ces notices apportent des compléments didactiques pour aider les étudiants à les exploiter.

2.4. Système de fichiers

À l'exception des schémas électriques déployés, tous les documents sont élaborés avec la suite bureautique *LibreOffice*, qui permet à chaque enseignant de les exploiter et les modifier avec des logiciels gratuits suffisamment puissants et compatibles entre eux pour le traitement de texte (*writer*), l'édition de dessins (*draw*) et de présentations visuelles (*impress*).

Pour chaque sujet de travaux pratiques, les 3 documents (*spécifications techniques*, *travail demandé* et *corrigé*) sont chacun créés sous la forme d'un fichier de texte (au format .odt), mais les figures qu'ils comprennent ont été créés dans des fichiers de dessin (au format .odg) puis incorporés par copier/coller :

- ▶ Toutes les vues du ou des **schémas d'implantation** sont issus d'un même fichier *implantation* créé avec autant de couches que nécessaires pour pouvoir, selon les besoins, en montrer ou non différents aspects (grille, composants de structure, appareils, circuit de puissance, circuit de commande, etc.). La représentation des appareils de l'armoire est réalisée soit sous forme de photos avec une résolution suffisante pour y lire toutes les inscriptions, en particulier la numérotation des contacts, soit sous formes graphiques simplifiées lorsqu'il s'agit de répondre à une question du sujet. Pour la représentation des appareils du poste, une solution en dessins transparents est privilégiée par rapport aux photographies, pour permettre de voir à la fois le dessus et le dessous de la boîte.
- ▶ Les variantes du **schéma électrique déployé** (selon qu'il s'agit de spécifications et ou de réponses aux questions) sont rassemblées dans un même fichier *schémas* ; ces schémas sont en fait réalisés avec un logiciel propriétaire *Xrelais* d'édition de schémas électriques, puis exportés dans un fichier format .pdf, lequel peut être ouvert avec le programme *draw* et enregistré au format .odg. Cette procédure est un peu longue, mais elle permet en définitive de mieux présenter les schémas (coloriage en rouge des éléments de réponse, etc.).

La même organisation prévaut pour les notices didactiques des appareils, des outils et des procédures de câblage, de même que pour les fichiers de présentations visuelles. Les figures sont toujours créées à part dans un fichier de dessin puis incorporées au document principal par copier/coller.

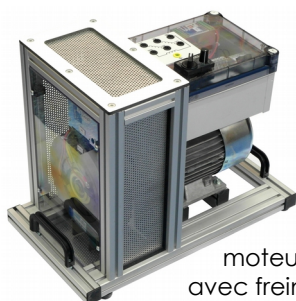
3 – Conditions de sécurité

Au regard des dangers que recèlent les circuits électriques de puissance fonctionnant sous tension alternative triphasées 230 / 400 V, les activités pratiques de câblage, même dans un cadre éducatif, comportent des risques d'accidents qui peuvent être mortels. Néanmoins, il est possible de réduire ces risques et tendre vers le « zéro accident » en veillant scrupuleusement aux conditions matérielles et aux procédures de travail (notamment les consignes de sécurité que doivent respecter toutes les personnes prenant part aux activités pratiques).

3.1. Conditions matérielles de sécurité

Les activités pratiques de câblage ont lieu dans un **laboratoire dédié**, réunissant les conditions matérielles pour que les étudiants puissent travailler en toute sécurité :

- ▶ Les essais de puissance sous tension alternative triphasée 230 / 400 V sont exclusivement¹ réalisés dans une **armoire de confinement** (par exemple la référence MD1AA685, en photo ci-contre, qui reçoit des grilles standards perforées 750×551 mm, référence AM3PA86) ; toutes les connexions des circuits de puissance externes à l'armoire sont conformes à l'indice IP2x.
- ▶ Les **parties opératives** branchées en sortie de l'armoire de confinement sont également conçues pour un usage sécurisé excluant tout contact corporel avec un conducteur nu sous tension ou une partie tournante ; on utilise le moteur asynchrone triphasé didactisé (puissance 750 W), référence MD1AA529LT, ainsi qu'un support en bois recevant deux ampoules à incandescence 40 W pour simuler des éclairages ou des résistances (cf. les photos ci-dessous).



moteur didactisé
avec frein à poudre

simulateur de
récepteurs
résistifs



- ▶ Les opérations se déroulant sous tension de puissance se limitent à des manœuvres normales d'appareils et des mesures ; elles imposent l'usage adéquat des **équipements individuels et collectifs de protection** (même liste que celle figurant dans la notice pédagogique du module C0) et la surveillance étroite de l'enseignant.
- ▶ Les **circuits de commande** sont conçus pour fonctionner exclusivement sous **très basse tension de sécurité** alternative 24 V ; ce choix permet de laisser les étudiants de disposer en autonomie de la tension de commande pour vérifier et mettre au point leurs câblages sans risque d'accident ;
- ▶ Les câblages sont préparés sur des **postes de travail** (comme par exemple l'établi en photo contre, proposé par le fabricant français *Ateliers de Villetaneuse*) munis d'une grille perforée standard compatible avec l'armoire de confinement et délivrant la tension de commande via une **chaîne de sécurité** renforcée (protection par disjoncteur magnéto-thermique différentiel haute sensibilité, arrêt d'urgence verrouillable, mise sous tension par commutateur monostable à clé, transformateur de sécurité, douille de sécurité Ø4 mm).



Tous les équipements, mais aussi les composants de câblage, les consommables et les outils utilisés, doivent faire l'objet de **vérification fréquente de bon état**. Tout produit endommagé sera immédiatement signalé, mis hors service et ne pourra être réutilisé qu'après une réparation conformes aux normes de maintenance.

3.2. Consignes de sécurité

Il a déjà été mentionné à la section 1.1 que toute personne (les étudiants, et a fortiori les enseignants) appelée à

¹ Dans le cadre sessions de formations continues d'électriciens professionnels suffisamment expérimentés, il est également possible de réaliser des essais de puissance directement sur les postes de travail (cf. section 5.5), à condition d'employer les équipements de protection comme pour tous les travaux sous tension de puissance.

réaliser les travaux pratiques de câblage de ce module (et des suivants) doit avoir préalablement suivi une formation à la prévention des accidents électriques.

En outre, le travail pratique en laboratoire de câblage est assujéti à un ensemble de consignes de sécurités formant un **règlement écrit**. Au début de la première séance de chaque module, il revient aux enseignants de distribuer à leurs étudiants ce règlement, d'en exposer le contenu et leur faire signer. Il est également de la responsabilité des enseignants de veiller au respect de ce règlement et de savoir prendre les mesures nécessaires en cas de manquement (signalement, rappel à l'ordre, voire exclusion). De plus, tout incident caractérisé par une incompétence majeure ou une volonté délibérée de nuire de la part d'un étudiant doit faire l'objet, dans les délais les plus brefs, d'un rapport disciplinaire à la direction de l'établissement.

4 – Progression pédagogique du module

Cette section expose les aspects essentiels des séances de travaux pratiques et la progression pédagogique au fil des séances, en distinguant les connaissances théoriques et les compétences pratiques que les étudiants sont amenés à acquérir. Le détail de la liste des composants utilisés à chaque séance est donné à la section 5.

4.1. Connaissances théoriques

Par connaissances « théoriques » en câblage, on entend bien entendu la technologie des appareils, mais aussi la compréhension des schémas électriques dans lesquels les appareils sont intégrés. Dans cette perspective, le module C1 vise à rendre les étudiants capables de lire et d'analyser branche par branche un schéma déployé pour en comprendre le fonctionnement global, et d'en concevoir des parties simples (commande des indicateurs lumineux, chaîne de sécurité). La conception d'un schéma entier est réservée au module C2.

TP n°1.1. La 1^{ère} séance aborde les **principes généraux** de constitution des armoires électriques industrielles, notamment la séparation des circuits de puissance et de commande, la distinction de l'armoire et du poste de commande, les connexions d'entrées/sorties, etc. On commence aussi l'étude des composants fondamentaux, notamment le **disjoncteur magnéto-thermique** (justification du choix du calibre, lectures des courbes de déclenchement), le **contacteur de puissance** (principe d'utilisation et câblage en **auto-maintien**), mais aussi les **boutons-poussoirs** à ouverture et fermeture et les **indicateur lumineux**. Sur les schémas électriques déployés, les exercices concernent la **numérotation des contacts** des appareils, la notion de **références croisées** des symboles et le **repérage équipotentiel** des fils ; ces deux derniers points seront retravaillés à toutes les séances.

TP n°1.2. Cette séance fait découvrir le **moteur asynchrone triphasé**, par lecture de la plaque signalétique et choix du couplage (avec un document ressource), sa protection dissociée avec un **disjoncteur magnétique** (avec choix du calibre) et un **relais thermique**, dont on étudie le principe d'utilisation. On introduit également la commande d'**arrêt d'urgence** par bouton-poussoir à accrochage. Sur les schémas électriques déployés, les exercices concernent la numérotation des contacts du relais thermique (**contacts spéciaux**), les références croisées et le repérage équipotentiel.

TP n°1.3. Cette séance permet de réviser et d'approfondir la protection des circuits de puissance et de commande, avec la découverte des **sectionneurs porte-fusibles** (justification du choix du type et du calibre) et l'intégration d'un **contact de pré-coupure** en amont du circuit de commande. On revoit également la commande par contacteur en auto-maintien pour la marche et l'arrêt du moteur, et on découvre la mise en œuvre avec un **commutateur** à positions fixes permettant de basculer le couplage de deux résistances en série ou en parallèle. Sur le schéma électrique déployé, on demande de compléter des branches (commande en auto-maintien de la bobine du contacteur du moteur, commande des indicateurs lumineux).

TP n°1.4. Cette séance fait découvrir un système à **deux sens de marche** commandés par deux contacteurs indépendants, que les étudiants câbleront eux-même en **inversion de phase** et en **inter-verrouillage électrique**. Le circuit de commande comporte comme nouveauté deux **contacteurs auxiliaires**, équipés chacun d'un bloc de **contacts temporisés au travail**. Il devient alors pertinent d'étudier le fonctionnement du système à l'aide d'un **chronogramme** à compléter. Sur le schéma électrique déployé, on demande de représenter tous les circuits de commande (y compris les bornes d'entrées/sorties) des indicateurs lumineux.

TP n°1.5. Comme nouveau composant, cette séance prolonge la précédente en utilisant un **bloc de 2 contacteurs-inverseurs** (avec peignes de puissance et de commande). Ensuite, les questions portent sur le fonctionnement du système, qui a **deux modes** (manuel et automatique) et un cycle avec mémorisation par contacteur auxiliaire et temporisation : après avoir distingué les parties du circuit de commande propres à chaque mode, on demande de mettre en **équations logiques** la commande des contacteurs, puis de compléter un chronogramme. Sur le schéma électrique déployé (circuit de commande), on demande de représenter tous les circuits des indicateurs lumineux et la chaîne de sécurité (contact de pré-coupure, contact thermique, arrêt d'urgence) entre le coupe-circuit de protection et le commutateur de mode.

4.2. Compétences pratiques

En matière de compétences pratiques, l'objectif final du module C1 est de rendre les étudiants capables de réaliser dans les règles de l'art un câblage à partir d'un schéma électrique déployé complet, ce qui suppose en premier lieu la capacité à concevoir mentalement la disposition des appareils et à transposer les liaisons du schéma en conducteurs électriques reliant les bornes spécifiées. Le **schéma d'implantation** joue ici un rôle de représentation intermédiaire. La progression pédagogique du module consiste à le fournir aux étudiants avec de moins en moins de détails au fur et à mesure des sujets, qui demandent (partie *préparation au câblage*) de le compléter :

- ▶ **TP n°1.1.** Tous les composants de structure (y compris la grille et les écrous, pour ce seul sujet) et tous les appareils sont représentés en images, ainsi qu'une partie du câblage filaire ; les étudiants doivent compléter par analogie le circuit de puissance et certains fils du circuit de commande.
- ▶ **TP n°1.2.** Le schéma inclut encore les images des éléments de structure et des appareils, ainsi qu'une partie du câblage filaire mais le câblage filaire ne figure plus sur le schéma ; les étudiants doivent représenter tous les fils du circuit de puissance et tous les fils de commande des appareils introduits nouvellement dans le sujet.
- ▶ **TP n°1.3.** Seul les éléments de structure et quelques appareils sont représentés, et de façon schématique ; les étudiants doivent compléter le schéma de façon analogue pour tous les autres appareils ; la représentation du câblage n'est plus demandée, elle est supposée acquise.
- ▶ **TP n°1.4 et 15.** Seuls les éléments de structure sont représentés de façon schématique ; les étudiants doivent représenter l'intégralité des appareils comme à la séance précédente.

En second lieu, chaque sujet du module C1 consacre un temps significatif à la réalisation pratique du câblage, pour permettre aux étudiants de **s'initier aux bons gestes techniques** : montage des rails et des goulottes (TP n°1.1), montage et démontage des appareils, dénudage des fils, sertissage des embouts, serrage des connexions. À ces compétences, s'ajoutent celles permettant de faire les **bons choix de fils** (couleur, section, longueur, embouts).

Enfin, le module C1 est conçu pour faire acquérir aux étudiants le **bon choix des outils** : d'une part en fournissant une gamme limitée de tournevis (à lame droite), et en invitant à choisir la largeur appropriée pour chaque vis ; d'autre part en faisant découvrir au fil des séances différentes technologies de pinces à dénuder et à sertir.

5 – Inventaire des composants utilisés

La réalisation d'une armoire électrique industrielle nécessite un grand nombre de composants et d'outils. Pour le module C1, on utilise, pour chaque poste de travail :

- ▶ des **composants structurels** (grille, rails, goulottes, poste de commande) – 12 références ;
- ▶ des **appareils** de sectionnement, protection, commutation – 16 références ;
- ▶ des **boutons et voyants** qui équipent le poste de commande ou simulent des capteurs – 14 références ;
- ▶ des **composants de repérage** des fils et des appareils – 4 références ;
- ▶ des **consommables** (fils, embouts de câblage, colliers de serrage) – 8 références ;
- ▶ des **éléments de connexions sécurisées** – 6 références ;

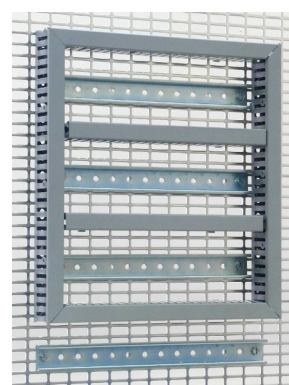
- des **outils de câblage** – 9 références ;
- un **détecteur de tension** multifonctions – 1 référence.

Tous ces matériels doivent faire l'objet d'une **gestion ordonnée** (inventaire informatisé, stockage avec étiquetage, surveillance régulière de bon état avec mise à l'écart immédiate de tout matériel dégradé), pour éviter les détériorations accidentelles, les vols, les pénuries, les accidents, etc. Idéalement, cette gestion doit être confiée spécialement à un technicien travaillant en concertation avec l'équipe enseignante et disposant de tous les moyens nécessaires : des armoires, des bacs et boîtes de diverses dimensions en quantités suffisantes, etc.

Dans les tableaux qui suivent, pour chaque référence, les quantités indiquées entre parenthèses dans la dernière colonne indiquent la quantité qu'il est souhaitable de commander pour 6 poste en tenant compte du conditionnement commercial du constructeur et des nécessités de disposer de surplus pour ne pas compromettre le bon déroulement des activités pédagogique en cas de détérioration inopiné d'un composant.

5.1. Composants structurels

Pour des questions de simplicité matérielle, les **armoires** à réaliser dans ce module seront toutes assemblées selon une **structure identique** à 3 rails entourés de goulottes plus un rail inférieur pour les borniers d'entrées/sorties, le tout monté sur une grille perforée standard (cf. photo ci-contre). Les dimensions ont été choisies pour optimiser l'usage des longueurs commercialisées des rails et des goulottes (2 m), tout en restant compatibles avec les besoins en espace des câblages des modules suivants.



Le **poste de commande** est réalisé séparément dans une boîte en matériau composite (résine polyester armée de fibre de verre), avec un couvercle à 8 perçages Ø22. Pour permettre le passage des fils dans le boîtier, un perçage supplémentaire Ø38 doit être réalisé en bout de boîte et équipé d'une entrée de câble rapide en matière synthétique souple (pour éliminer tout risque de détérioration de l'isolant des fils).

Une **deuxième boîte** du même type mais à 4 emplacements est requise pour le sujet de TP n°1.5 afin de simuler avec des boutons certains capteurs du système (fins de course, détection d'obstacle).

Même si la tension de commande n'est pas dangereuse dans le cadre des travaux pratiques, tous les emplacements vides des boîtes sont à fermer avec un obturateur approprié, en respect des normes générales de sécurité (enveloppes conformes à l'indice IP2x).

désignation	référence 	quantité pour		
		1 poste	6 postes	
grille standard perforée « platine Telequick » 750×551 mm	AM3PA86	1	6	(6)
6 goulottes 25×50 mm (2×L=385 mm ; 2×L=330 mm ; 2×L=280 mm)	AK2GD2550	2 m	12 m	(10)
6 couvercles de goulotte 25 mm (dimensions idem)	AK2CD25	2 m	12 m	(10)
vis de fixation à tête fendue isolée M5×10	AF1VB510	12	72	(100)
écrou rectangulaire clipsable M5	AF1EA5	12	72	(100)
4 rails profilés combinés (3×L=280 mm ; 1×L=330 mm)	AM1ED201	1,2 m	7 m	(10)
vis de fixation à tête hexagonale fendue et rondelle imperdable M6×12	AF1VA612	8	48	(100)
écrou rectangulaire clipsable M6	AF1EA6	8	48	(100)
poste de commande vide 8 perçages Ø22	XAPA2108	1	6	(8)
poste de commande vide 4 perçages Ø22	XAPA1104	1	6	(8)
entrée de câble rapide IP67 M40	IMT36184	2	12	(16)
obturateur pour emplacement vide Ø22	ZB5SZ3	4	48	(50)

5.2. Appareillage de l'armoire

Le module C1 d'initiation au câblage a pour objectif de donner un **bon aperçu des réalités industrielles**, mais sans verser dans une complexité excessive. La gamme des appareils progressivement mis en œuvre au cours des travaux pratiques s'étend à 16 références Schneider Electric, permettant de couvrir l'ensemble des fonctions de base de l'armoire électrique (sectionnement, protections, commutation, mémorisation).

Les calibres des appareils de protection sont dimensionnés par rapport aux récepteurs didactisés, ils n'ont pas de valeur représentative de la réalité que les sujets de travaux pratiques cherchent à simuler.

Les quantités sont indiquées en tenant compte des éventuelles questions subsidiaires des sujets de TP.

désignation	référence 	quantité pour le sujet de TP n°					quantité pour	
		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1 poste	6 postes
bloc de connexion 1P 2 points pour PE 2,5 mm ²	AB1RRNTP235U2	3	2	2	2	3	3	18 (100)
bloc de connexion 10P 4 mm ²	DB6CD110	2	2	4	2	3	4	48 (60)
sectionneur à fusibles 1P+N 500V~	15646	1	1	1	1	1	1	6 (12)
sectionneur à fusibles 3P 690V~	LS1D32			1			1	6 (10)
cartouches fusibles 10×38 gG 2A	DF2CN02	1	1	1	1	1	1	6 (20)
cartouches fusibles 10×38 aM 2A	DF2CA02			3			3	18 (40)
disjoncteur magnéto-thermique 2P 400V~/C0,5A	24068 (24060)	1		1		1	1	6 (10)
disjoncteur magnétique 3P 690V~/2,5A	GV2LE07		1		1	1	1	6 (10)
additif de contacts de pré-coupure NO+NC	GVAE11		1	1	1	1	2*	12 (20)
relais thermique 3P 690V~/1,6-2,5A	LRD07		1	1	1	1	1	6 (10)
adaptateur pour relais thermiques LRD	LAD7B106		1	1	1	1	1	6 (10)
contacteur de puissance 3P 690V~/25A/24V~	LC1D09B7	2	1	3	2	3	3	18 (10)
contacteur auxiliaire 3NO+2NC 10A/24V~	CAD32B7				2	2	2	12 (15)
additif latéral de contacts auxiliaires NO+NC	LAD8N20		1	1			1	6 (10)
bloc de contacts auxiliaires 2NO+2NC	LADN22					1	1	6 (10)
bloc de contacts temporisés au travail NO+NC	LADT2				2	1	2	12 (15)

* L'additif frontal de contacts de pré-coupure GVAE11 se monte à la fois sur le sectionneur porte-fusible LS1D32 et sur le disjoncteur moteur GV2ME07. Pour éviter d'avoir à le démonter régulièrement de l'un vers l'autre, il est souhaitable d'en disposer pour chacune de ces références (d'où la quantité double recommandée).

5.3. Appareillage du poste de commande et de simulation de capteurs

Comme pour l'armoire, l'appareillage du poste de commande permet, au fur et à mesure des travaux pratiques, de découvrir une **variété raisonnable** de composants. La gamme Ø22 mm en matière plastique  Harmony B5 offre une durée de vie suffisante et une bonne compatibilité avec les boîtiers XAPA (absence de vis de pression). Pour comprendre leur modularité, il est judicieux de fournir aux étudiants ces composants démontés (mécanisme avec écrou, cadre, contacts).

Les références indiquées dans le tableau ci-dessous diffèrent parfois de celles données dans les documents spécifications techniques des sujets de travaux pratiques : elles comportent alors un contact qui n'est pas utilisé systématiquement, mais qu'il est plus simple de commander groupé dans une seule référence pour tous les sujets.

désignation	référence 	quantité pour le sujet de TP n°					quantité pour	
		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1 poste	6 postes
bouton coup-de poing rouge NO+NC	XB5AS8445		1	1	1	1	1	6 (10)
bouton tournant 2 positions fixes NO+NC	XB5AD25				1	1	1	6 (10)
bouton tournant 3 positions fixes 2NO	XB5AD33			1			1	6 (10)
bouton-poussoir à impulsion noir NO	XB5AA21	2	1	1		2	2	12 (15)
bouton-poussoir à impulsion vert NO	XB5AA31	2	1			1	2	12 (15)
bouton-poussoir lumineux 24V~ blanc NO	XB5AW31B5					2	2	12 (15)
bouton-poussoir lumineux 24V~ vert NO	XB5AW33B5			2	2		2	12 (15)
voyant lumineux 24V~ blanc	XB5AVB1	1		2	1		2	12 (15)
voyant lumineux 24V~ vert	XB5AVB3		1			1	1	6 (10)
voyant lumineux 24V~ rouge	XB5AVB4		1	1	1		1	6 (10)
voyant lumineux 24V~ jaune	XB5AVB5		1	1	1	1	1	6 (10)
voyant lumineux 24V~ bleu	XB5AVB6					1	1	6 (10)
contact NO	ZBE101				1		1	6 (20)
contact NC	ZBE102	1	1	1		3	3	18 (30)

5.4. Composants de repérage

Le repérage des fils et des appareils – indispensable pour produire des systèmes faciles à dépanner – constitue un ensemble d'opérations longues et minutieuses, utilisant une grande variété de tous petits composants, donc facilement perdables, mais aussi souvent des technologies de marquage difficiles à mettre en œuvre dans un laboratoire de formation.

Pour des questions de temps et de simplicité matérielle, le module C1 n'aborde cet aspect que de façon très simplifiée : au sujet de TP n°1.1, repérage des numéros du bornier X0 des conducteurs PE (repères de 5 mm) ; pour tous les sujets, repérage équipotentiels des fils du circuit de commande de l'armoire (repères de 6 mm).

désignation	référence 	quantité pour le sujet de TP n°					quantité pour	
		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1 poste	6 postes
barrette de repérage 5 mm chiffres 0-9	AB1R11	1					1	6 (25)
barrette de repérage 6 mm nombres 1-10	AB1B610	4	3	6	5	5	6	36 (50)
barrette de repérage 6 mm nombres 11-20	AB1B620		3	5	6	3	6	36 (50)
barrette de repérage 6 mm nombre 20-30	AB1B630					7	7	42 (50)

Bien que réutilisables, les repères seront inévitablement dispersés et égarés, une fois détaché de leur barrette, s'ils ne sont pas fournis aux étudiants dans une boîte de rangement à casiers. Cette organisation évite également aux étudiants de perdre du temps à chercher le bon numéro à chaque repérage d'un fil.

5.5. Composants de connexions sécurisées

Dans les systèmes industriels, les conducteurs externes à l'armoire sont des câbles ou des fils sous conduits et les connexions avec les récepteurs sont isolées dans des enveloppes (par exemple, dans le boîtier de couplage pour les moteurs). Mais le temps nécessaire pour réaliser ces connexions à la mise en service du service du système est trop long pour que ces opérations soient envisagées dans le cadre de travaux pratiques de groupes.

On utilise donc des **solutions didactisées** grâce à des **cordons mixtes**, fabriqués à partir de cordons à douilles de

sécurité « double puits » $\varnothing 4$ mm, dont l'une des extrémités a été coupée puis dénudée et sertie d'un embout de câblage ($2,5 \text{ mm}^2$), afin d'être raccordée sur un bornier de l'armoire. Pour la connexion avec l'alimentation de puissance, on réalise une **boîte spéciale** à cinq douilles reliant chacune l'un des conducteur d'un câble court (0,5 m) aux extrémités serties, également à raccorder sur un bornier de l'armoire.



désignation	utilisation	quantité pour le sujet de TP n°					quantité pour	
		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1 poste	6 postes
boîte de connexion de puissance à 5 douilles	400V~ ↔ armoire	1	1	1	1	1	1	6 (10)
cordon de sécurité mixte L=0,25 m bleu	24V~ ↔ armoire	1	1	1	1	1	1	6 (10)
cordon de sécurité mixte L=0,25 m rouge	24V~ ↔ armoire	1	1	1	1	1	1	6 (10)
cordon de sécurité mixte L=0,5 m vert-jaune	armoire ↔ PO	2	1	1	1	2	2	12 (20)
cordon de sécurité mixte L=0,5 m bleu	armoire ↔ PO	2		2		1	2	12 (20)
cordon de sécurité mixte L=0,5 m noir	armoire ↔ PO	2	3	5	3	4	5	30 (40)

Conformes à l'indice IP2x, ces solutions permettent de réaliser les essais de puissance aussi bien dans l'armoire de confinement que directement sur le poste de travail (ce qui est envisageable dans le cadre de la formation continue des électriciens professionnels). Pour cette dernière option, même si les postes de travail ne distribuent pas la tension de puissance, on utilise un câble spécial (un seul pour tout le laboratoire), dont l'une des extrémités est munie d'une prise mâle industrielle qui sera raccordée à une prise femelle du laboratoire, et l'autre décomposée en conducteurs équipés chacun d'une fiche de sécurité qui sera raccordée aux douilles de la boîte spéciale. De la sorte, les électriciens en formation ne disposent pas du matériel pour pouvoir raccorder en autonomie leur câblage à l'alimentation de puissance, et doivent attendre pour ce faire la disponibilité d'un enseignant.

Les cordons mixtes pour l'alimentation du circuit de commande sont choisies volontairement trop courts pour pouvoir être raccordées directement sur les douilles du poste de travail du circuit de commande. Il revient alors à l'enseignant de distribuer aux étudiants les rallonges idoines lorsqu'il juge que leur câblage est suffisamment bien fait pour passer à l'étape du test avec la tension de commande.

Pour des raisons évidentes de sécurité, **tous ces composants ne doivent pas être utilisés autrement que conformément à l'usage prévu** dans les sujets de travaux pratiques. Il serait irresponsable de les laisser à la disposition des étudiants sans consignes précises et hors de la surveillance d'un enseignant ; en effet, un cordon mixte branché sur une douille de sécurité sous tension et ayant son extrémité sertie libre constituerait un danger.

5.6. Composants consommables

Le câblage des appareils est réalisé en **fils souples** de section $0,75 \text{ mm}^2$ et $1,5 \text{ mm}^2$ respectivement pour les circuits de commande et de puissance. Hormis le vert-jaune, réservé aux conducteurs PE, la norme n'impose aucune couleur, mais il est évidemment préférable de suivre les usages professionnels : noir pour la puissance, rouge pour la commande. Le fait de distinguer en bleu les conducteurs du circuit de commande équipotentiels à la borne 0 V (neutre) est un choix pédagogique, pour aider les étudiants à repérer la branche « de retour ».

Avec les appareils utilisés, dont les bornes sont à étriers, toutes les extrémités de connexion doivent

obligatoirement être serties d'**embouts de diamètre et de longueur appropriés** (au risque sinon de sectionner des brins lors du serrage). En particulier, il faut utiliser exclusivement des embouts courts dans les bornes des contacts montés sur les mécanismes du poste de commande.

Pour regrouper en torons les fils allant des borniers de l'armoire au poste de commande, on utilise de simples **colliers** en polyamide à serrage rapide.

désignation (référence )	utilisation	quantité pour le sujet de TP n°					quantité pour	
		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1 poste	6 postes
fil souple H 07 V-K 1×0,75 mm ² bleu	commande – neutre							
fil souple H 07 V-K 1×0,75 mm ² rouge	commande – phase							
fil souple H 07 V-K 1×1,5 mm ² bleu	puissance – neutre							
fil souple H 07 V-K 1×1,5 mm ² noir	puissance – phases							
embout court 0,75 mm ² (DZ5CE007L6)	commande/poste	11	18	30	30	45	134	804
embout moyen 0,75 mm ² (DZ5CE007)	commande/armoire	29	34	54	68	81	266	1596
embout moyen 1,5 mm ² (DZ5CE015)	puissance	20	24	44	36	36	160	960
collier de serrage polyamide 2,4×95 mm	toron/poste	3	3	3	3	6	18	108

Les valeurs indiquées dans la dernière colonne indiquent les quantités consommées pour l'ensemble des travaux pratiques du module et pour 6 postes. Elles doivent encore être multipliées par le nombre de groupes d'étudiants inscrits à ces modules, et aussi tenir compte des sessions de formation professionnelle, pour déterminer les quantités consommées annuellement.

Par soucis d'économies, il est toutefois possible de récupérer d'une séance à l'autre une grande partie des longueurs de fils utilisées, à condition de couper les extrémités pour les débarrasser des embouts déjà sertis. En effet, s'il est commode et rapide de réutiliser des fils aux extrémités déjà serties, il en résulte aussi une moindre pratique du dénudage et du sertissage par les étudiants, ce qui est pédagogiquement discutable.

5.7. Outils de câblage

Au module C1, la gamme des **tournevis** est volontairement limitée au strict minimum de **3 références à lame droite**, permettant de couvrir l'ensemble des vis des composants de structure et des appareils. L'usage des tournevis à lame cruciforme, qui supposent la distinction des empreintes *Phillips* et *Pozidriv*, sera abordé aux modules suivants.

En revanche, on explore plusieurs technologies de **pincés à dénuder et à sertir** les fils, d'abord polyvalentes, puis plus spécialisées et adaptées au travail de production. Chaque pince est utilisée durant au moins deux séances consécutives, pour donner aux étudiants le temps d'en acquérir l'usage. La pince automatique, qui nécessite peu de savoir-faire, est réservée à la dernière séance, dont les opérations de câblage sont les plus nombreuses.

Du fait de leur usage intensif et parfois maladroit, il est fortement recommandé de choisir des références d'outils professionnels (comme ci-dessous celles de la marque *Facom*) dont l'excellente qualité est non seulement rentable, mais aussi contribue à transmettre aux étudiants le goût et le respect pour l'instrument de travail.

désignation	référence	nécessité pour le sujet de TP n°				
		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
clé de serrage des appareils Ø22 XB5 (voyants, boutons, etc.)	 ZB5AZ905	●	●	●	●	●
tournevis isolé 1000V à lame droite 6,5 mm	 A6,5X150VE	●	●	●	●	●
tournevis isolé 1000V à lame droite 5,5 mm	 A5,5X125VE	●	●	●	●	●
tournevis isolé 1000V à lame droite 4 mm	 A4X100VE	●	●	●	●	●
pince à dénuder et sertir standard	 4491	●	●			

désignation	référence	nécessité pour le sujet de TP n°				
		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
pince coupe-câble	 985912			•	•	
pince à dénuder standard	 194.17			•	•	
pince à sertir les embouts de câblage	 985899			•	•	•
pince à dénuder automatique frontale (avec coupe-câble)	 793936					•

Pour un déroulement efficace des séances de travaux pratiques, il est indispensable que chaque poste de travail dispose d'un jeu complet d'outils. Les quantités à commander sont donc directement égales au nombre de poste pour chaque référence, auxquelles il convient d'ajouter un ou deux exemplaires de surplus.

5.8. Instruments de mesure

La fourniture pour chaque poste de travail d'un **détecteur de tension** qui possède également la fonction de **testeur de continuité** est indispensable aux étudiants pour leur permettre de vérifier en autonomie l'absence d'erreurs sur leurs câblages. Avec un modèle sans aucune sélection manuelle de mode ou réglage de calibre, on peut également effectuer des opérations de mesure sous tension de puissance, en conformité avec les règles de sécurité.

Le fait que l'appareil dispose de la fonction de **mesure de résistance** (ce qui est le cas de la référence ci-dessous) est pédagogiquement intéressant, car il permet de distinguer certains cas de continuité (par exemple, lorsqu'une résistance est présente entre les pôles testés).

désignation	référence	nécessité pour le sujet de TP n°				
		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
détecteur de tension multifonctions	 T140	•	•	•	•	•