



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

ALINE LIMA DE OLIVEIRA

**ESTUDO DOS ASPECTOS TÉCNICOS E REGULAMENTARES DA UTILIZAÇÃO DE
BATERIAS EM INSTRUMENTOS MUSICAIS**

Recife
2025

ALINE LIMA DE OLIVEIRA

**ESTUDO DOS ASPECTOS TÉCNICOS E REGULAMENTARES DA UTILIZAÇÃO
DE BATERIAS EM INSTRUMENTOS MUSICAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Departamento de Engenharia Elétrica da Uni-
versidade Federal de Pernambuco, como requi-
sito parcial para obtenção do grau de Enge-
nharia de Controle e Automação.

Orientador(a): Prof. Dr. Alexander Barros Lima

Recife
2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Oliveira, Aline Lima de.

Estudo dos aspectos técnicos e regulamentares da utilização de baterias em instrumentos musicais / Aline Lima de Oliveira. - Recife, 2025.

70 : il., tab.

Orientador(a): Alexander Barros Lima

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia de Controle e Automação - Bacharelado, 2025.

Inclui referências, apêndices, anexos.

1. Baterias recarregáveis. 2. Normas internacionais. 3. Sistemas de gerenciamento de baterias. 4. Instrumentação eletrônica. 5. Prototipagem de circuitos. I. Lima, Alexander Barros. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

ALINE LIMA DE OLIVEIRA

**ESTUDO DOS ASPECTOS TÉCNICOS E REGULAMENTARES DA UTILIZAÇÃO
DE BATERIAS EM INSTRUMENTOS MUSICAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Departamento de Engenharia Elétrica da Uni-
versidade Federal de Pernambuco, como requi-
sito parcial para obtenção do grau de Enge-
nharia de Controle e Automação.

Aprovado em: 15/12/2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alexander Barros Lima (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Herbert de Albérico de Sá Leitão (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Márcio Rodrigo Santos de Carvalho (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

É com imensa alegria que encerro este ciclo da minha vida, que até aqui foi o mais formador que já experimentei. Ao revisitar minha trajetória — repleta de aprendizados, desafios e descobertas — reconheço que nada teria sido possível sem aqueles que caminharam ao meu lado.

Antes de tudo, expresso minha gratidão a Deus, que sempre foi meu amparo e minha força. Tudo o que pude realizar de bom veio de Sua graça e inspiração; e, por meio dos tropeços, aprendi sobretudo sobre humildade. Ainda há um longo caminho a percorrer, mas levo comigo o que essa jornada me ensinou.

Sou profundamente grata aos meus pais, pelo amor constante, por me ensinarem o valor do estudo e por todo o apoio necessário para chegar até aqui. Estendo minha gratidão à minha irmã, cujo carinho e incentivo sempre me acompanharam.

Aos meus queridos professores, que não apenas transmitiram os conhecimentos essenciais à minha formação, mas também contribuíram para meu crescimento pessoal e intelectual, deixo meu sincero reconhecimento. Foram eles que me impulsionearam para além das paredes da sala de aula, por meio de projetos, pesquisas, monitorias e tantas outras oportunidades. De modo especial, agradeço aos professores Marcelo Cavalcanti, Rafael Cavalcanti, Douglas Contente, Fabrício Bradaschia, Edna Barros, Eduardo Barbosa, Herbert Leitão e Alexander Barros, pelas conversas, suporte, conselhos e, sobretudo, pela dedicação com que me ensinaram.

Registro também minha gratidão ao professor Arnaldo Carneiro pela oportunidade de realizar o intercâmbio de duplo diploma BRAFITEC/Capes na Polytech Grenoble, bem como aos professores e profissionais de relações internacionais da instituição, cujo suporte e acolhimento foram fundamentais.

Aos meus colegas do RobôCIn, Dipolum e Habitus Tec, agradeço pela parceria e pelo privilégio de transformar conhecimento em prática, aprendendo, pela experiência, habilidades valiosas e construindo juntos aplicações com propósito para a sociedade.

E, por fim, aos amigos e colegas que tornaram esta caminhada mais leve e enriquecedora, meu muito obrigada. Compartilharam comigo seu conhecimento, suas histórias, desafios, e juntos sonhamos tornarmos engenheiros. De maneira especial,

guardo no coração a parceria de Danilo Andrade e Eduardo Rodrigues (*in memoriam*), presentes desde o nosso primeiro período.

RESUMO

O presente trabalho aborda o estudo dos aspectos técnicos e regulatórios relacionados à utilização de baterias em instrumentos musicais eletrônicos. Foram analisadas as principais normas e certificações internacionais, como UN38.3, IEC62133 e UL2054, consideradas essenciais para garantir a segurança e a conformidade de baterias de íons de lítio em produtos eletrônicos. A pesquisa também incluiu o levantamento de produtos concorrentes e a avaliação das características técnicas de diferentes tipos de baterias, tais como íons de lítio, níquel-hidreto metálico (NiMH) e lítio-polímero (LiPo), além dos sistemas de gerenciamento de baterias disponíveis no mercado. Com base nessas análises, foi realizada a seleção de soluções adequadas para os requisitos dos produtos da empresa ARTURIA, contemplando fatores como regulação de tensão, mecanismos de carga e conversão. O estudo resultou no desenvolvimento de um circuito de alimentação para um produto específico, integrando sistemas de carga e proteção. Os testes e o processo de prototipagem forneceram subsídios para recomendações voltadas à evolução das soluções alimentadas por bateria na empresa, destacando a importância da qualificação técnica da equipe e da integração de medidas de segurança e monitoramento. Os resultados indicam que a adoção de baterias pode promover avanços significativos na linha de produtos, alinhando inovação e sustentabilidade.

Palavras-chave: baterias recarregáveis; normas internacionais; sistemas de gerenciamento de baterias; instrumentação eletrônica; prototipagem de circuitos.

RÉSUMÉ

Ce travail porte sur l'étude des aspects techniques et réglementaires liés à l'intégration de batteries dans les instruments de musique électroniques. Les principales normes et certifications internationales, telles que UN 38.3, IEC 62133 et UL 2054, ont été analysées, car elles sont indispensables pour garantir la sécurité et la conformité des batteries lithium-ion utilisées dans les produits électroniques. L'étude comprend également une analyse comparative de produits concurrents ainsi qu'une évaluation des caractéristiques techniques de différents types de batteries — notamment les batteries lithium-ion, nickel-métal hydrure (NiMH) et lithium-polymère (LiPo) — ainsi que des systèmes de gestion de batterie disponibles. À partir de ces analyses, des solutions techniques adaptées ont été sélectionnées afin de répondre aux exigences des produits d'ARTURIA, en tenant compte de paramètres tels que la régulation de tension, les modes de charge et la conversion de puissance. Ce travail a conduit au développement d'un circuit d'alimentation dédié à un produit spécifique, intégrant des fonctions de charge et de protection. Les phases de test et de prototypage ont permis d'étayer des recommandations visant à améliorer les solutions d'alimentation par batterie au sein de l'entreprise, en soulignant l'importance de la qualification technique des équipes ainsi que de l'intégration de dispositifs de sécurité et de surveillance. Les résultats montrent que l'adoption de solutions à base de batteries peut apporter des avancées significatives à la gamme de produits, en conciliant innovation technologique et durabilité.

Mots-clés: batteries rechargeables; normes internationales; systèmes de gestion de batterie; instrumentation électronique; prototypage de circuits.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figure 1 - Planning d'activités initial.	27
Figure 2 - Planning d'activités final.....	28
Figure 3 - Exemples de batterie cylindrique	31
Figure 4 - Exemple de cellule en poche	32
Figure 5 - Exemple de batterie prysmatique.....	32
Figure 6 - Croquis du schéma de la PCB	44

LISTA DE TABELAS

Table 1 - Tableau des cahiers des charges des produits choisis d'ARTURIA.....	41
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CI	Circuito Integrado
H ₂ SO ₄	Ácido Sulfúrico
INPG	Instituto Nacional Politécnico de Grenoble
KOH	Hidróxido de Potássio
LCO	Óxido de Lítio-Cobalto
LFP	Fosfato de Ferro-Lítio
LiPo	Lítio-Polímero
NFPA	Associação Nacional de Proteção contra Incêndios
NiCd	Níquel-Cádmio
NiMH	Níquel-Hidreto Metálico
NMC	Óxido de Lítio-Níquel-Manganês-Cobalto
PBO ₂	Dióxido de Chumbo
PCB	Placa de Circuito Impresso
TAE®	True Analog Emulation

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS	15
1.1.1	Objetivo geral	15
1.1.2	Objetivos específicos.....	15
2	FUNDAMENTOS TÉCNICOS E NORMATIVOS SOBRE BATERIAS.....	17
2.1	TECNOLOGIAS DE BATERIAS	17
2.2	ASPECTOS REGULAMENTARES.....	20
3	INTEGRAÇÃO DO RELATÓRIO TÉCNICO DESENVOLVIDO NA POLYTECH GRENOBLE.....	22
3.1	CONTEXTUALISATION	23
3.1.1	L'entreprise.....	23
3.1.2	Motivation	24
3.1.3	Mission	25
3.1.4	Équipe et échanges	26
3.1.5	Organisation de tâches et planning	26
3.2	TRAVAIL RÉALISÉ.....	30
3.2.1	État de l'art.....	30
3.2.1.1	<i>Étude des technologies des batteries</i>	30
3.2.1.2	<i>Analyse des couples chimiques</i>	36
3.2.1.3	<i>Consultation avec Future Electronics</i>	37
3.2.2	Aspects réglementaires	38
3.2.2.1	<i>Normes et Certifications Principales</i>	38
3.2.2.2	<i>Autres normes pertinentes</i>	39
3.2.2.3	<i>Sécurité en milieu de travail</i>	40
3.2.3	Projet et adéquation d'un produit d'ARTURIA	40
3.2.3.1	<i>Définition du Cahier des Charges</i>	41
3.2.3.2	<i>Analyse des Produits Concurrentiels</i>	41
3.2.3.3	<i>Recherche de Batteries et Convertisseurs</i>	42
3.2.3.4	<i>Combinaison Batteries et Convertisseurs</i>	43
3.2.3.5	<i>Planification du Circuit d'Alimentation</i>	43
3.2.4	Prototypage	45
3.2.5	Prochaines étapes.....	45
3.3	COMPETENCES ACQUISES PENDANT LE STAGE	46
3.4	CONCLUSIONS	47
3.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48
4	CONCLUSÕES	50
	REFERÊNCIAS.....	52

APÊNDICES.....54
ANEXOS (Annexes)59

1 INTRODUÇÃO

Baterias são elementos amplamente utilizados em sistemas eletrônicos, apresentando diferentes composições químicas, formatos e capacidades de armazenamento. A escolha da bateria adequada demanda a análise de múltiplos fatores, já que cada tecnologia implica vantagens e limitações que precisam ser equilibradas conforme os requisitos do produto. Assim, torna-se essencial compreender suas propriedades elétricas, mecânicas e de segurança para fundamentar decisões de projeto de forma consistente (PATEL, MISHRA, *et al.*, 2023).

A elaboração deste trabalho está associada ao intercâmbio de duplo diploma realizado na Polytech Grenoble, no âmbito do programa BRAFITEC (promovido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES), durante o qual foi desenvolvido um estágio técnico na empresa ARTURIA. Esse estágio, conduzido ao longo de dezessete semanas em regime de tempo integral, resultou na produção de um documento técnico destinado à universidade francesa. O TCC originalmente submetido na instituição estrangeira continha informações confidenciais relacionadas ao desenvolvimento de produtos da empresa, razão pela qual não pode ser disponibilizado ou anexado no contexto do presente trabalho. Dessa forma, a versão aqui apresentada corresponde a uma adaptação do relatório técnico, documento que reúne os conteúdos autorizados para divulgação acadêmica.

Durante o estágio, foi realizado um estudo voltado à avaliação da aplicabilidade de baterias em instrumentos musicais eletrônicos fabricados pela ARTURIA. Esse estudo integrou a análise de diferentes tipos de baterias presentes no mercado, a investigação de normas internacionais aplicáveis ao uso de baterias e a observação de soluções implementadas por concorrentes do setor. Além disso, o trabalho envolveu a concepção e o desenvolvimento de protótipos de circuitos alimentados por bateria, integrando conhecimentos adquiridos ao longo do estágio. Assim, a adaptação apresentada neste TCC busca preservar integralmente os conteúdos autorizados e a lógica de desenvolvimento presentes no relatório produzido na França, assegurando que o leitor compreenda tanto o contexto acadêmico quanto a natureza técnica das atividades realizadas no estágio.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a viabilidade de integrar soluções de alimentação por bateria aos instrumentos musicais eletrônicos da ARTURIA, considerando tecnologias disponíveis, requisitos regulamentares e aspectos técnicos envolvidos na seleção de componentes e na concepção de circuitos.

1.1.2 Objetivos específicos

De forma mais detalhada, os objetivos específicos foram:

- Analisar as principais tecnologias de baterias utilizadas em dispositivos eletrônicos, considerando suas variações químicas, formatos e parâmetros de desempenho relevantes.
- Investigar as normas e regulamentações aplicáveis ao uso de baterias em produtos eletrônicos, com ênfase nos requisitos de segurança e certificação necessários para comercialização internacional.
- Estudar o comportamento de diferentes composições químicas e arquiteturas de baterias, identificando suas vantagens, limitações e adequação às necessidades dos produtos da empresa.
- Avaliar produtos concorrentes que utilizam sistemas de alimentação por bateria, identificando soluções técnicas adotadas no mercado e suas possíveis implicações para o desenvolvimento de produtos da ARTURIA.
- Desenvolver protótipos preliminares de circuitos de alimentação por bateria, utilizando combinações de células e conversores compatíveis com os requisitos definidos para os produtos analisados.
- Definir diretrizes técnicas que possam orientar etapas futuras de desenvolvimento, incluindo recomendações de seleção de baterias, aspectos de integração mecânica e elétrica e cuidados associados ao processo de prototipagem.

Além de seu valor técnico, o estágio teve importância acadêmica e formativa significativa. Ele proporcionou à autora a oportunidade de aplicar, de forma prática, conhecimentos de engenharia de controle e automação, especialmente no que diz respeito à modelagem e compreensão de sistemas energéticos, à integração de circuitos de potência e à otimização de parâmetros de funcionamento de dispositivos eletrônicos. O contato com um ambiente de pesquisa e desenvolvimento internacional contribuiu também para o aprimoramento da visão sistêmica, do raciocínio crítico e da capacidade de atuar em equipes multidisciplinares, competências fundamentais à formação de um engenheiro.

2 FUNDAMENTOS TÉCNICOS E NORMATIVOS SOBRE BATERIAS

Este capítulo apresenta os conceitos técnicos e regulamentares essenciais para a compreensão do trabalho desenvolvido durante o estágio na empresa ARTURIA. Os conteúdos aqui descritos foram extraídos do relatório técnico produzido na Polytech Grenoble, traduzidos e adaptados para o contexto acadêmico brasileiro, preservando integralmente as informações autorizadas para divulgação.

2.1 Tecnologias de baterias

O estudo das tecnologias de baterias constituiu a primeira etapa do trabalho desenvolvido durante o estágio, sendo esta fase crucial para adquirir os conhecimentos necessários à análise das diferentes opções tecnológicas disponíveis no mercado. A compreensão aprofundada das características e limitações de cada tecnologia permitiu orientar as pesquisas de forma eficiente e estabelecer critérios objetivos para a seleção de soluções adequadas às necessidades específicas dos produtos da empresa.

Uma primeira forma de diferenciar as baterias consiste em classificá-las segundo sua capacidade de recarga, dividindo-as em duas categorias principais: primárias e secundárias (MOREHOUSE, GLICKSMAN e LOZIER, 1958). As baterias primárias, também conhecidas como descartáveis, não podem ser recarregadas de forma confiável ou segura após completamente descarregadas; embora apresentem geralmente uma taxa de autodescarga mais baixa, o que lhes confere maior durabilidade em armazenamento, podem revelar-se menos econômicas a longo prazo (KURZWEIL, 2005). As baterias secundárias, por sua vez, são recarregáveis e podem passar por diversos ciclos de carga e descarga ao longo de sua vida útil, sendo frequentemente privilegiadas por seu aspecto econômico a longo prazo e sua durabilidade.

Além da classificação quanto à capacidade de recarga, as baterias podem ser diferenciadas pelo formato físico de suas células, aspecto que influencia diretamente a integração em produtos e a gestão térmica do sistema. As células cilíndricas, um dos formatos mais tradicionais, são compostas por um ânodo, um cátodo e um separador em forma de folhas que são sobrepostos, enrolados e inseridos em um invólucro

cilíndrico; este tipo de célula foi um dos primeiros a ser produzido em massa e permanece popular até hoje, comportando diversas fileiras com dispositivos de proteção posicionados em lados opostos. Em contraste, as células *pouch* não possuem invólucro externo rígido, utilizando uma folha flexível selada para conter os elementos da célula, com as camadas de eletrodos e separadores empilhadas em vez de enroladas; para este formato, é importante que o projetista preveja espaço suficiente para permitir eventual expansão da célula durante os ciclos de uso. Já as células prismáticas são constituídas por grandes folhas de ânodos, cátodos e separadores que são sobrepostas, enroladas e prensadas para se integrar em um invólucro metálico ou plástico rígido de formato cúbico, podendo os eletrodos também ser montados por empilhamento de camadas; as células prismáticas de lítio apresentam-se em forma de módulos de uma ou duas fileiras, com os dispositivos de proteção sempre posicionados do mesmo lado (BATTERY UNIVERSITY, 2019) (BRIDGEWATER, CAPENER, *et al.*, 2021).

Para a adequada seleção de baterias em aplicações específicas, faz-se necessário compreender os principais parâmetros que as caracterizam. A célula constitui o elemento fundamental de uma bateria, tratando-se de um dispositivo eletroquímico composto por ânodo, cátodo, eletrólito e separador, que armazena energia sob forma química e a transforma em eletricidade quando utilizada. Uma bateria, por sua vez, é um conjunto de diversas células que podem ser conectadas em série ou em paralelo para atingir os níveis de tensão e capacidade necessários para diferentes aplicações.

Entre os parâmetros mais relevantes para a caracterização de baterias, destaca-se inicialmente a tensão nominal, que representa o valor médio da tensão fornecida em funcionamento normal e corresponde à tensão na qual a bateria opera de forma mais eficiente. Igualmente importante é o ciclo de vida, que indica o número de ciclos completos de carga e descarga suportados antes que a capacidade desça abaixo de um limiar crítico, geralmente 80% da capacidade inicial. A faixa térmica de funcionamento, por sua vez, designa a gama de temperaturas ambientes na qual a bateria pode operar com segurança e sem perda significativa de desempenho, sendo crucial respeitar esta faixa para evitar danos ou mau funcionamento.

No que se refere às taxas de operação, a taxa de carga e descarga, expressa em *C-rate*, indica a rapidez com que uma bateria pode ser carregada ou descarregada

em relação à sua capacidade total; por exemplo, uma taxa de 1C significa que a bateria pode ser completamente carregada ou descarregada em uma hora. Quanto à capacidade de armazenamento, a energia específica refere-se à quantidade de energia armazenada por unidade de massa, geralmente expressa em Wh/kg, constituindo um indicador-chave da eficiência energética.

Outros parâmetros igualmente relevantes incluem a segurança, que engloba todas as características e medidas para prevenir riscos como incêndio ou explosão, abrangendo proteção contra sobrecarga, resistência ao descontrole térmico e prevenção de vazamentos. A estabilidade química indica a capacidade de resistir a reações indesejáveis que poderiam prejudicar o desempenho ou comprometer a segurança ao longo do tempo, enquanto a resistência térmica mede a capacidade de dissipar calor eficientemente, sendo essencial uma gestão térmica adequada para manter a bateria dentro de sua faixa de temperatura segura. Por fim, a durabilidade corresponde ao período durante o qual a bateria permanece plenamente funcional, sendo influenciada pelo número de ciclos realizados, pela estabilidade química e pelas condições de utilização.

No que diz respeito às famílias químicas de baterias, o termo refere-se à combinação específica de materiais empregados nos eletrodos e no eletrólito. A família das baterias de íons de lítio caracteriza-se por um ânodo composto de carbono, frequentemente grafite, e um cátodo constituído por diversos compostos de lítio, como LCO ou LFP, com separador geralmente fabricado em polietileno ou polipropileno; esta família foi identificada durante o estágio como a mais promissora para as aplicações da empresa. A família das baterias de níquel caracteriza-se pela utilização de níquel no cátodo associado a outro componente no ânodo, como o cádmio nas baterias NiCd, com separador em fibra de vidro ou material plástico microporoso. As baterias alcalinas possuem cátodo de dióxido de manganês, ânodo de zinco em pó e separador de papel ou tecido não tecido embebido em eletrólito alcalino, frequentemente hidróxido de potássio (KOH). Já as baterias de chumbo apresentam ânodo de chumbo esponjoso, cátodo de dióxido de chumbo (PbO_2) e separador em borracha ou fibra de vidro embebida em ácido sulfúrico (H_2SO_4) (NZEREOGU, OMAH, *et al.*, 2022).

2.2 Aspectos regulamentares

A integração de baterias em produtos comerciais requer atenção aos aspectos regulamentares, que abrangem desde normas de segurança para transporte até requisitos de certificação para comercialização em diferentes mercados. Durante o estágio, foi realizado um levantamento das principais normas e certificações aplicáveis, sendo as mais relevantes a UN38.3, a IEC62133 e a UL2054.

A norma UN38.3 constitui uma norma internacional de segurança para o transporte de baterias de íons de lítio, especificando requisitos de teste para garantir que as baterias resistam às condições extremas de transporte, como variações de temperatura, choques, vibrações e curtos-circuitos. Dado que a certificação implica investimentos significativos em tempo e recursos, é vantajoso considerar baterias padronizadas já certificadas em vez de baterias personalizadas, uma vez que diversos fabricantes oferecem ampla gama de baterias em conformidade com esta norma.

Complementarmente, a norma IEC62133 fixa os requisitos de segurança para baterias recarregáveis, nomeadamente as de íons de lítio e níquel, cobrindo testes de segurança, condições de utilização e armazenamento, e exigências de fabricação. Esta norma é essencial para empresas que desejam comercializar produtos contendo baterias, pois garante conformidade com padrões rigorosos em matéria de segurança, sendo obrigatória em todos os países da União Europeia. De modo similar, a norma UL2054 especifica requisitos de segurança para baterias de íons de lítio no que diz respeito à fabricação e utilização, impondo testes rigorosos para assegurar que as baterias sejam seguras e confiáveis quando integradas em produtos; a conformidade com esta norma é particularmente importante para fabricantes que desejam comercializar seus produtos na América do Norte.

Além das normas principais, outras diretivas e regulamentos foram identificados como relevantes. A Diretiva RoHS regula substâncias perigosas em equipamentos elétricos e eletrônicos, enquanto a Diretiva WEEE trata da reciclagem destes equipamentos. A certificação FCC regula emissões eletromagnéticas para produtos vendidos nos Estados Unidos, ao passo que a marcação CE indica conformidade com as exigências europeias de segurança, saúde e proteção ambiental. Complementam este

quadro a norma IEC62368-1, que estabelece requisitos de segurança para equipamentos de áudio, vídeo e informática, e a norma ANSI C18, específica para baterias portáteis.

No que concerne à segurança no ambiente de trabalho, é importante notar que não existem normas obrigatórias específicas para ambientes de trabalho com baterias em pequena escala, com potência inferior a 100W. Todavia, é crucial adotar práticas de segurança rigorosas para proteger o pessoal e as instalações. Durante o estágio, foi compilada uma lista de riscos potenciais e medidas de segurança recomendadas para manipulação de baterias, a partir de diversas fontes incluindo empresas especializadas em segurança, transportadores de baterias e instituições como a NFPA. Esta compilação abrange referências e material visual para formação de pessoal, formação e habilitações para trabalho com baterias, e sugestões de equipamentos de segurança apropriados. Este conhecimento foi essencial para orientar as decisões relativas à segurança dos dispositivos equipados com baterias e, particularmente, das placas de circuito impresso projetadas durante o estágio, considerando que grande parte dos riscos associados a baterias decorre de manipulação mecânica ou elétrica inadequada.

3 INTEGRAÇÃO DO RELATÓRIO TÉCNICO DESENVOLVIDO NA POLYTECH GRENOBLE

Este capítulo apresenta, na íntegra, o relatório técnico elaborado durante o estágio na empresa ARTURIA e aprovado pela Polytech Grenoble no âmbito do programa de duplo diploma BRAFITEC. O documento encontra-se em sua versão original em língua francesa, conforme foi submetido e validado pela instituição estrangeira, preservando assim a autenticidade e integridade do trabalho efetivamente desenvolvido durante o período de intercâmbio.

A opção por manter o relatório em francês fundamenta-se em três razões principais. Em primeiro lugar, trata-se do documento oficial aprovado pela banca examinadora francesa, cuja alteração poderia comprometer seu caráter de registro acadêmico autêntico. Em segundo lugar, a tradução integral de um documento técnico desta extensão demandaria esforço desproporcional ao benefício obtido, considerando que os conceitos fundamentais já foram apresentados em português no Capítulo 2. Por fim, a manutenção do idioma original evidencia a natureza internacional da formação da autora, aspecto valorizado no contexto do programa BRAFITEC.

O relatório está organizado em quatro seções principais. A primeira seção, intitulada “Contextualisation”, apresenta a empresa ARTURIA, suas motivações para o estudo de baterias, a missão atribuída à estagiária, a equipe de trabalho e o planejamento das atividades. A segunda seção, “Travail Réalisé”, constitui o núcleo técnico do documento, descrevendo o estado da arte sobre tecnologias de baterias, os aspectos regulamentares investigados, o projeto de adequação de produtos da empresa e o processo de prototipagem. A terceira seção, “Compétences Acquisées”, sintetiza as competências técnicas e transversais desenvolvidas ao longo do estágio. A quarta e última seção apresenta as conclusões do trabalho realizado.

Para facilitar a compreensão do leitor que não domine o idioma francês, recomenda-se a leitura atenta do Capítulo 2, que apresenta os conceitos técnicos e normativos necessários para acompanhar o desenvolvimento do relatório. Os termos técnicos empregados no relatório em francês correspondem diretamente àqueles apresentados na fundamentação, permitindo ao leitor estabelecer as correspondências necessárias. Adicionalmente, o Resumo presente nos elementos pré-textuais deste

TCC oferece uma síntese completa do trabalho. Cabe registrar, também, que os elementos pré-textuais do relatório original, incluindo capa, resumo em francês, abstract e agradecimentos, foram deslocados para o Apêndice A deste trabalho. Esta decisão visa evitar redundância com os elementos pré-textuais já presentes no TCC brasileiro, ao mesmo tempo em que preserva a documentação completa do relatório aprovado na instituição francesa. O leitor interessado em consultar esses elementos em sua forma original poderá fazê-lo no referido apêndice.

A seguir, apresenta-se o corpo do relatório técnico, iniciando pela contextualização do estágio.

3.1 Contextualisation

3.1.1 *L'entreprise*

ARTURIA est une entreprise fondée en 1999 à Grenoble, en France, par Frédéric Brun et Gilles Pommereuil. Les deux fondateurs étaient des étudiants en ingénierie à l'INPG et étaient également membres actifs de l'Orchestre Symphonique Universitaire, avec Brun comme violoniste et Pommereuil comme chef d'orchestre. Ils envisageaient que la technologie pouvait ouvrir le monde de la création musicale à tous, voyant la musique et le son comme un univers plein de possibilités créatives.

Leur objectif était de créer des produits simples et accessibles pour la production musicale en utilisant les avancées technologiques. La société a commencé initialement comme une entreprise de logiciels, mais vers 2004/2005, il y avait un intérêt croissant pour le développement d'instruments matériels. À cette époque, de nombreux musiciens hésitaient à utiliser des ordinateurs sur scène et demandaient des instruments pouvant intégrer les algorithmes d'ARTURIA, connus sous le nom de TAE®.

Cela a conduit à la création du premier synthétiseur, Origin, qui permettait aux utilisateurs de combiner des éléments d'émulations de synthétiseurs classiques dans leurs propres configurations. Au fil des ans, la demande pour des instruments matériels, des logiciels complets et une meilleure intégration entre les deux a considérablement augmenté. L'entreprise a répondu à cette demande avec des produits tels que

les *Brutes* tactiles, le logiciel *Analog Lab* simplifié et les *KeyLabs* articulés, répondant à un large éventail de besoins créatifs.

La stratégie principale de la société et son avantage concurrentiel résident dans sa capacité à innover. Grâce à ses développements, elle a été récipiendaire de plusieurs prix prestigieux dans ce domaine. Aujourd'hui, l'entreprise opère dans 55 pays et a connu une croissance rapide ces dernières années.

ARTURIA est désormais stratégiquement positionnée entre le matériel et le logiciel, offrant des solutions innovantes pour apprendre, créer et jouer de la musique. Cet équilibre reste un pilier essentiel, permettant aux musiciens de transformer facilement leurs idées en réalité (ARTURIA, 2024).

3.1.2 Motivation

En tant qu'entreprise innovante qui cherche sans relâche à se réinventer et à se démarquer sur le marché, ARTURIA concentre ses efforts sur la promotion de l'étude et de l'exploration de nouveaux sujets et technologies dans ses divers secteurs.

Le thème de l'alimentation des dispositifs est toujours pertinent dans le développement de produits électroniques. ARTURIA a montré un intérêt particulier pour l'exploration de nouvelles sources d'alimentation pour ses produits, cherchant constamment à allier performance et développement écologique responsable. Pour cette raison, elle est intéressée à l'évaluation de l'alimentation par batteries, une ressource déjà présente sur le marché des instruments de musique et qui pourrait avoir un impact positif sur ses produits.

Les avantages potentiels de l'utilisation de batteries comme source d'alimentation incluent :

- **Portabilité** : De nombreux produits de l'entreprise sont déjà compacts et légers. Leur alimentation par batteries leur confère une autonomie totale, ce qui signifie qu'ils sont complètement indépendants. Cela permet aux utilisateurs de les utiliser à tout moment et en tout lieu ;

- **Praticité** : L'alimentation par batteries réduit le temps nécessaire à la préparation des performances en diminuant la quantité de câbles et d'équipements nécessaires ;
- **Sécurité** : En cas de coupure d'électricité, l'utilisateur peut sauvegarder son travail ou terminer sa performance sans problème. De plus, la réduction des câbles d'alimentation diminue le risque de chocs électriques et d'accidents ;
- **Économie d'énergie** : Les instruments alimentés par batteries sont généralement conçus pour être plus efficaces et incluent souvent des modes de fonctionnement économes en énergie.

Ainsi, l'entreprise a décidé d'unir son besoin constant d'évolution et d'innovation avec la recherche de solutions durables et améliorations pour ses produits. En relevant le défi de comprendre une fonctionnalité déjà présente chez ses concurrents, ARTURIA se donne le temps d'étudier en profondeur le sujet avant de décider de son implémentation dans ses créations. De cette manière, l'entreprise peut développer une solution bien pensée et bien développée, sans la précipitation de créer des produits uniquement pour vendre, mais plutôt pour durer et éterniser l'art.

3.1.3 Mission

Les missions confiées à ce stage consistent à :

- Réaliser un état de l'art technique sur les différents types de batteries : technologies, capacité, durée de vie, température de fonctionnement, température de recharge, temps de charge, déformations (dilatation), contraintes mécaniques, mesure de l'état de charge courant, remplacement, etc. ;
- Étudier les aspects réglementaires : normes, certification, questions d'approvisionnement, stockage (et maintien en charge dans les magasins), réparation, sensibilisation aux risques et règles de manipulation ;
- Faire une étude d'adéquation entre les produits ARTURIA existants et les technologies intéressantes repérées, avec des recommandations pour de futurs produits ;
- Prototyper la conversion d'un produit ARTURIA en produit alimenté par batterie.

3.1.4 Équipe et échanges

L'équipe était initialement composée de six personnes : un responsable en électronique, un ingénieur en électronique, trois ingénieurs en systèmes embarqués et une stagiaire (moi). Ce groupe joue un rôle crucial dans l'entreprise, étant responsable du développement électronique de la plupart des produits physiques, tels que les lignes *_Brute*, *_Freak*, *_Lab*, entre autres.

Chaque ingénieur de l'équipe se consacre principalement à une ligne de produits différente. Pour maintenir la cohésion de l'équipe, surtout compte tenu du fait que nous travaillons souvent sur des projets distincts, une bonne communication et organisation sont essentielles.

Pour cela, chaque matin, l'équipe organise une réunion virtuelle de *stand-up* où chaque membre partage rapidement ses principales activités de la journée. Ce moment bref permet d'échanger des commentaires et des discussions qui aident à maintenir l'intégration et l'alignement entre collègues. De plus, chaque mercredi, nous avons notre réunion de *stand-up* en présentiel. Lors de cette réunion, nous présentons les activités réalisées depuis la dernière réunion en personne et discutons de nos besoins, réussites et difficultés.

Toutes les deux semaines, en fin d'après-midi du lundi, nous avons une réunion d'équipe plus longue, d'une durée d'une heure. Cette rencontre est destinée à aborder un sujet commun, qu'il s'agisse d'un travail en cours présenté par un membre de l'équipe, d'une discussion importante nécessitant la participation de tous ou d'un moment de formation.

3.1.5 Organisation de tâches et planning

Lors de la présentation de l'entreprise et des premières démarches de travail, une brève réunion a eu lieu pour discuter les tâches à inclure dans les axes principaux de ce stage :

- État de l'art des batteries ;
- Aspects réglementaires ;

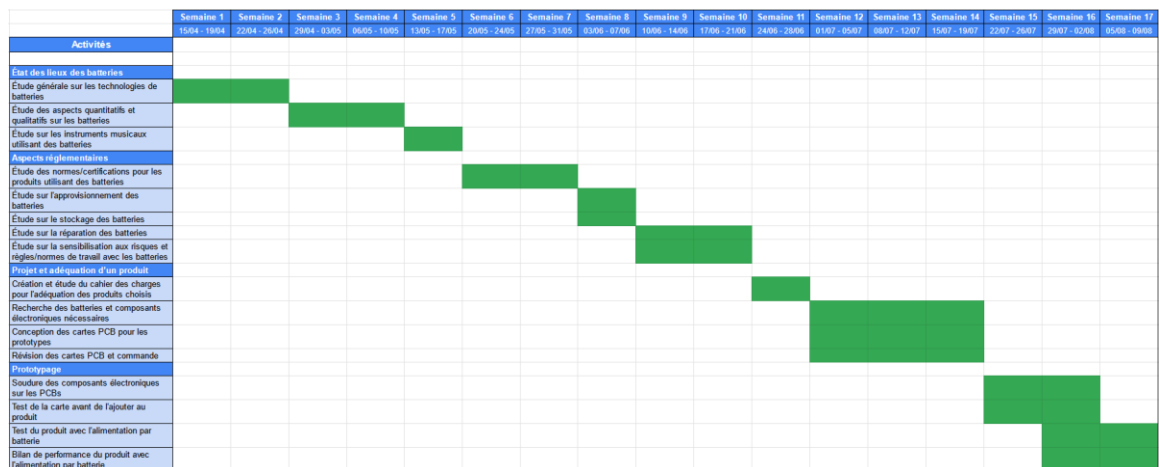
- Projet et adéquation d'un produit d'ARTURIA ;
- Prototypage.

Plusieurs activités ont été ajoutées à ces axes, formant ainsi ce que j'ai mentionné précédemment comme les missions du stage, section 3.1.3.

Ensuite, Thierry Chatelain (mon tuteur de stage et manager de l'équipe) et moi avons discuté de l'organisation des activités et des priorités. Nous avons conclu qu'il était impossible de prévoir précisément le temps nécessaire pour chaque étape, étant donné que le sujet était nouveau pour l'entreprise.

J'ai donc conçu un planning consistant à consacrer la moitié du temps du stage à l'étude théorique, avant de commencer à travailler sur les aspects pratiques du projet. La Figure 1 illustre en détail ce planning.

Figure 1 - Planning d'activités initial.



Source : l'auteur.

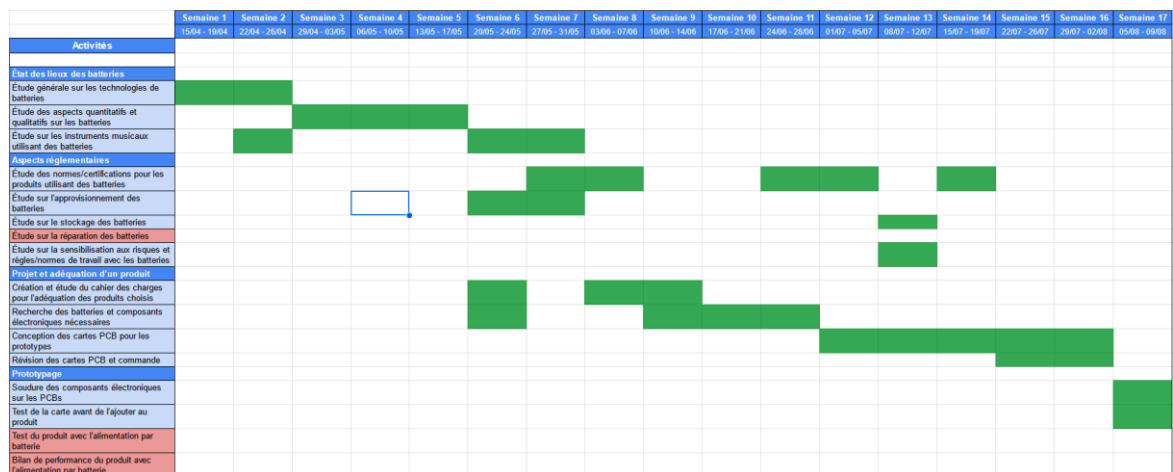
Dans le planning initial, il était prévu de consacrer environ deux mois et demi à la partie théorique. Le premier mois devait être consacré à une recherche initiale pour comprendre les batteries de manière générale et identifier les caractéristiques distinctives de chaque type de batterie. Cette étape incluait la création d'un tableau comparatif des différents couples chimiques de batteries et l'étude approfondie de chaque type, afin de déterminer la meilleure batterie pour nos produits. Le deuxième mois devait se concentrer sur les besoins liés au travail avec les batteries, notamment

l'étude des normes et certifications nécessaires pour le transport, le stockage, la conception de produits alimentés par batteries, ainsi que les questions de sécurité et autres aspects réglementaires.

Dans la seconde moitié du stage, la partie pratique devait prendre place. Cette phase comprenait le choix des produits d'ARTURIA pouvant servir de prototypes pour tester l'application des batteries, la conception d'un circuit basé sur un cahier des charges, la recherche des composants nécessaires, et la conception de la carte PCB. Ensuite, la phase de prototypage aurait lieu, incluant la soudure des composants sur la carte, si nécessaire, et les tests de la carte seule puis intégrée au produit. Enfin, la documentation technique du stage serait rédigée, incluant le bilan des résultats des tests.

Cependant, après les premières semaines de travail, il est devenu évident que le sujet des batteries était plus complexe que prévu. Le domaine des batteries est en effet rempli de nuances et de détails nécessitant une attention particulière. Il est important de définir des limites à la recherche, car plus on s'immerge dans le sujet, plus on découvre de nouvelles informations à explorer. En conséquence, le planning initial a été fortement modifié, comme le montre la Figure 2.

Figure 2 - Planning d'activités final



Source : l'auteur.

Ces modifications présentes dans le planning peuvent s'expliquer par les raisons suivantes : pendant la première étape d'étude de l'état de l'art, une grande quantité d'informations a été assimilée. Cependant, il est apparu que la majorité des matériels

disponibles sur Internet étaient destinés à des applications telles que les véhicules électriques ou le stockage d'énergie, qui sont loin de notre domaine d'application. Pour cette raison, il a été nécessaire d'identifier les niches d'application des batteries pertinentes pour notre étude. Ainsi, l'étude initiale de l'existence des produits utilisant des batteries et des types de batteries qu'ils utilisaient a été réalisée plus tôt que prévu, mais a dû être reprise par la suite.

L'étape de construction de l'étude des aspects quantitatifs et qualitatifs des batteries a pris plus de temps que prévu. Cela s'explique par le fait que, bien que de nombreuses informations sur les batteries au lithium soient disponibles et actualisées sur Internet, des informations étaient manquantes pour d'autres couples chimiques de batteries. De plus, la détermination du prix par kWh de chaque batterie a pris du temps, car j'ai dû solliciter le fournisseur d'ARTURIA, Future Electronics, pour obtenir ces données. Finalement, j'ai pu compléter cette recherche et établir une base de données en extrapolant les informations manquantes.

À chaque fois que je m'approfondissais dans les connaissances sur les batteries, je revenais pour ajouter des informations et effectuer des analyses afin de choisir le type de batterie à utiliser pour la suite du stage, un aspect primordial. La décision d'opter pour les batteries lithium-ion a entraîné le besoin d'étudier en détail les aspects réglementaires, qui sont plus complexes que pour d'autres types de batteries, comme les alcalines, par exemple. En parallèle, nous avons défini le cahier des charges de chaque produit pour orienter nos prochaines étapes, en priorisant l'aspect pratique afin de prévenir les retards de chaînes d'approvisionnement, de production ou de transport.

Dans la partie finale, le chronogramme a été affecté car, au lieu de concevoir un prototype, nous avons choisi d'en concevoir quatre. Ce choix a ajouté du temps au planning, mais la complexité accrue liée à l'intégration des batteries dans la conception d'une carte d'essais *standalone* a également joué un rôle.

Il n'a pas été possible de finaliser les dernières activités prévues dans le planning de test du circuit de chargement du produit, ni de faire un bilan complet des résultats. En effet, la carte et les composants pour la PCB du premier produit ne sont arrivés que lors de la dernière semaine de mon stage. J'ai donc eu le temps de souder et de tester uniquement le sous-circuit de la partie du convertisseur *Boost*, tout en devant, en parallèle, préparer toute la documentation nécessaire pour assurer la continuité du travail

avec les batteries après la fin de mon stage. J'ai donc priorisé la transmission des informations importantes.

3.2 Travail réalisé

3.2.1 État de l'art

Pour bien comprendre les fondements du sujet des batteries et orienter les recherches, j'ai commencé par une étude approfondie des bases théoriques et pratiques liées aux technologies des batteries. Cette première phase a été cruciale pour acquérir les connaissances nécessaires à l'analyse des différentes options technologiques disponibles.

3.2.1.1 Étude des technologies des batteries

J'ai d'abord consacré une partie significative de mon travail à l'étude et à la documentation des types de batteries existants. Cette documentation inclut les différentes compositions chimiques, les formats de batteries, ainsi que les paramètres physiques essentiels à la performance des batteries. Ce document, qui sert initialement de référence pour mon équipe, peut être résumé en quelques points clés :

3.2.1.1.1 Différenciation des batteries en primaires et secondaires

Une première façon de différencier les batteries est de les classer selon leur capacité à être rechargées ou non. Dans ce contexte, les batteries se divisent en deux catégories principales : les batteries primaires et les batteries secondaires.

Les batteries primaires, également connues sous le nom de batteries jetables, ne sont pas rechargeables. Une fois complètement vidées, elles ne peuvent pas être rechargées de manière fiable ou sûre. Bien qu'elles aient généralement un taux de décharge plus faible, ce qui leur permet de durer plus longtemps, elles peuvent s'avérer moins économiques sur le long terme.

Les batteries secondaires, quant à elles, sont rechargeables. Elles nécessitent une autre source d'énergie pour se recharger, mais peuvent être chargées et déchargées plusieurs fois au cours de leur vie. Ce type de batterie est souvent privilégié pour son aspect économique et sa durabilité (SPARKFUN, 2015).

3.2.1.1.2 Les différents formats de batteries

Cellules Cylindriques

Les cellules cylindriques sont composées d'une anode, d'une cathode et d'un séparateur, tous sous forme de feuilles, qui sont superposés, enroulés et ensuite placés dans un boîtier de forme cylindrique, comme montre la Figure 3. Ce type de cellule est l'un des premiers à avoir été produit en masse et reste encore très populaire aujourd'hui. Ces cellules comportent plusieurs rangées avec des dispositifs de protection positionnés sur des côtés opposés.

Figure 3 - Exemples de batterie cylindrique



Source : (PIXABAY, 2016).

Cellules Pouch

Les cellules *pouch*, également appelées cellules en poche, n'ont pas de boîtier extérieur rigide et utilisent à la place une feuille flexible scellée pour contenir les éléments de la cellule. Les couches d'électrodes et de séparateurs dans une cellule *pouch* sont empilées. Il est important pour le concepteur de prévoir suffisamment d'espace pour permettre un éventuel gonflement de la cellule. Les modules utilisant des cellules *pouch* présentent des cellules en une seule rangée, avec les dispositifs de protection positionnés soit du même côté, soit sur des côtés opposés, comme montre la Figure 4.

Figure 4 - Exemple de cellule en poche



Source : (TARGRAY, 2024).

Cellules Prismatiques

Les cellules prismatiques, présentées dans la Figure 5, sont constituées de grandes feuilles d'anodes, de cathodes et de séparateurs qui sont superposées, enroulées et pressées pour s'intégrer dans un boîtier métallique ou en plastique rigide de forme cubique. Les électrodes peuvent également être assemblées par empilement de couches. Les cellules prismatiques au lithium se présentent sous forme de modules à une ou deux rangées, avec les dispositifs de protection toujours placés du même côté, quelle que soit la disposition des rangées (ONECHARGE, 2021).

Figure 5 - Exemple de batterie prismatique



Source : (PIXABAY, 2020)

Il est important de mentionner qu'il existe une grande variété de formats de batteries. Cependant, pour ce stage, je me suis concentré uniquement sur les formats les plus pertinents et adaptés aux applications d'appareils électroportables.

3.2.1.1.3 Les concepts fondamentaux pour la caractérisation de batteries

Pour pouvoir discuter efficacement des batteries avec mon équipe et obtenir des caractéristiques pertinentes pour différencier les batteries, j'ai réalisé des recherches afin d'identifier les variables les plus importantes à prendre en compte pour choisir la batterie la mieux adaptée à l'application envisagée. Voici quelques concepts clés issus de cette étude :

- **Cellule** : Une cellule est l'élément fondamental d'une batterie. C'est un dispositif électrochimique qui stocke de l'énergie sous forme chimique et la transforme en électricité lorsqu'elle est utilisée. Elle est composée de plusieurs composants : une anode, une cathode, un électrolyte et un séparateur (LINDEN e REDDY, 2002);
- **Batterie** : Une batterie est un assemblage de plusieurs cellules électrochimiques qui, ensemble, fournissent une source d'énergie électrique. Les cellules peuvent être connectées en série ou en parallèle pour atteindre les niveaux de tension et de capacité nécessaires à différentes applications (SCROSATI e GARCHE, 2010);
- **Tension nominale** : Représente la valeur moyenne de la tension qu'elle délivre en fonctionnement normal. C'est une valeur indicative, souvent précisée par le fabricant, qui correspond à la tension à laquelle la batterie fonctionne le plus efficacement (LINDEN e REDDY, 2002);
- **Cycle de vie** : Correspond au nombre de cycles complets de charge et de décharge qu'elle peut subir avant que sa capacité ne descende sous un seuil critique (généralement 80% de sa capacité initiale) (TARASCON e ARMAND, 2001) ;
- **Plage thermique de fonctionnement** : Désigne la gamme de températures ambiantes dans laquelle la batterie peut opérer en toute sécurité et sans perte significative de performance. Respecter cette plage est crucial pour éviter tout dommage ou dysfonctionnement (SCROSATI e GARCHE, 2010);
- **Taux de charge et décharge** : Le taux de charge et de décharge, souvent exprimé en "C-rate", indique la rapidité avec laquelle une batterie peut être chargée ou déchargée par rapport à sa capacité totale. Par exemple, un taux de 1C

signifie que la batterie peut être entièrement chargée ou déchargée en une heure (LINDEN e REDDY, 2002) ;

- Énergie spécifique : L'énergie spécifique fait référence à la quantité d'énergie que la batterie peut stocker par unité de masse, généralement exprimée en Wh/kg (wattheures par kilogramme). C'est un indicateur clé de l'efficacité énergétique de la batterie (GOODENOUGH e KIM, 2011);
- Prix (cellule) \$/kWh : Le prix par kilowattheure d'une cellule de batterie est une mesure courante pour évaluer le coût de la batterie en fonction de sa capacité énergétique. C'est une donnée essentielle pour comparer l'efficacité économique des différentes technologies de batteries (MONGIRD, VISWANATHAN, *et al.*, 2020);
- Sécurité : La sécurité d'une batterie englobe toutes les caractéristiques et mesures qui visent à prévenir tout risque pour l'utilisateur, comme les risques d'incendie ou d'explosion. Cela inclut la protection contre la surcharge, la résistance à l'emballement thermique, et la prévention des fuites (WANG, PING, *et al.*, 2012);
- Stabilité chimique : La stabilité chimique d'une batterie est sa capacité à résister aux réactions chimiques indésirables qui pourraient nuire à ses performances ou compromettre sa sécurité au fil du temps (GOODENOUGH e PARK, 2013);
- Résistance thermique : La résistance thermique mesure la capacité de la batterie à dissiper la chaleur efficacement. Si cette résistance est trop élevée, la batterie peut surchauffer, ce qui peut affecter sa performance et sa sécurité. Une gestion thermique adéquate est donc essentielle pour maintenir la batterie dans sa plage de température sécurisée (TARASCON e ARMAND, 2001);
- Durée de vie : La durée de vie d'une batterie correspond à la période pendant laquelle elle reste pleinement fonctionnelle avant qu'elle ne doive être remplacée. Elle est influencée par le nombre de cycles de charge et de décharge, ainsi que par la stabilité chimique et les conditions d'utilisation (SCROSATI e GARCHE, 2010).

3.2.1.1.4 Introduction aux types de batteries courants

Pour obtenir une vue d'ensemble des types de batteries disponibles, j'ai mené une recherche sur les types les plus utilisés et les plus performants en fonction des applications spécifiques. Dans ce contexte, le terme "type de batterie" fait référence à la famille chimique à laquelle chaque batterie appartient.

Il est important de noter qu'il existe plusieurs variantes au sein de chaque famille, par exemple les batteries au lithium-ion, où le lithium est associé à divers autres composants chimiques pour permettre les réactions nécessaires au stockage et à la libération d'énergie.

Ainsi, je présente ici les familles de batteries que j'ai explorées lors de ma recherche initiale :

- La famille des batteries au lithium-ion : Les batteries de cette famille se caractérisent généralement par une anode composée de carbone, souvent sous forme de graphite, et une cathode constituée de divers composés de lithium, tels que le LCO ou le LFP. Le séparateur est généralement fabriqué en polyéthylène ou en polypropylène, et il sert à maintenir l'anode et la cathode séparées tout en permettant le passage des ions lithium pendant la charge et la décharge de la batterie (KIM, KRISHNA, *et al.*, 2020).
- La famille des batteries au nickel : Les batteries de cette famille se caractérisent par l'utilisation de nickel dans la cathode, associé à un autre composant dans l'anode, tel que le cadmium dans les batteries NiCd. Le séparateur le plus couramment utilisé est la fibre de verre ou un matériau plastique microporeux (BERNARD, 2009).
- La famille des batteries alcalines : Les batteries alcalines, qui sont parmi les plus classiques, ont une composition chimique relativement standard. Dans ces batteries, la cathode est constituée de dioxyde de manganèse, l'anode de zinc en poudre, et le séparateur est généralement fait de papier ou de tissu non tissé imbibé d'un électrolyte alcalin, souvent une solution de potasse, comme le KOH (BHATTACHARJEE, GHOSH, *et al.*, 2023).
- La famille des batteries au plomb : Dans cette famille de batteries, l'anode est constituée de plomb spongieux, tandis que la cathode est composée de PbO_2 .

Le séparateur est souvent en caoutchouc ou en fibre de verre imbibée d'une solution acide, généralement de l' H_2SO_4 . (BURHEIM, 2017)

Comme dernière partie de cette étude préliminaire, j'ai exploré la possibilité d'utiliser une alimentation externe, étant donné qu'il est de plus en plus courant de voir des musiciens utiliser des stations d'énergie portables pour alimenter leurs équipements. Cependant, cette idée n'a pas été retenue, car elle n'était pas directement liée à l'ensemble de l'étude.

3.2.1.2 Analyse des couples chimiques

Après cette phase introductive, j'ai approfondi mes recherches en étudiant les couples chimiques utilisés dans les batteries. Un couple chimique est une combinaison spécifique de matériaux employés dans les électrodes et l'électrolyte, qui détermine les propriétés de la batterie. Au cours de mes recherches, j'ai identifié une grande variété de couples chimiques. Cependant, la moitié d'entre eux n'est pas disponible commercialement et est réservée à des recherches en laboratoire.

J'ai donc compilé une liste des couples chimiques pertinents pour l'industrie. Afin de synthétiser l'information recueillie et de faciliter la prise de décision, j'ai créé plusieurs tableaux de caractérisation des batteries, regroupant les données les plus pertinentes pour notre analyse. Ces tableaux se distinguent par les éléments suivants :

- Un glossaire expliquant les abréviations des compositions chimiques et des termes utilisés ;
- Un tableau des aspects quantitatifs, incluant la tension nominale, la plage thermique de fonctionnement, l'énergie spécifique, ainsi que des commentaires sur l'emballage et d'autres remarques pertinentes. Ce tableau est également présenté dans une version colorée pour faciliter l'identification visuelle des avantages et inconvénients de chaque type de batterie ;
- Un tableau des aspects qualitatifs, classifiant les batteries selon des critères tels que la sécurité, la durée de vie, la stabilité chimique, etc. Ce tableau est également coloré pour une lecture plus intuitive.

La construction de ces tableaux a été un travail long et exhaustif. J'ai regroupé les quatre familles chimiques mentionnées précédemment, en plus d'ajouter une section pour les batteries dites "du futur", qui sont prometteuses pour les applications industrielles mais toujours en cours de développement.

Étant donné que j'avais choisi de rassembler toutes les informations pertinentes par type de batterie, j'ai dû rechercher les caractéristiques des batteries des familles lithium-ion, nickel, alcaline, et plomb, en plus des technologies émergentes. Trouver les informations pour les batteries au lithium-ion a été relativement simple, grâce à la disponibilité des ressources sur internet. Cependant, pour les autres types de batteries, les informations étaient plus difficiles à obtenir, parfois obsolètes ou inexistantes.

Après avoir réussi à rassembler toutes les informations, il est devenu évident qu'il était difficile pour une personne de parcourir les tableaux et d'en tirer une conclusion claire. J'ai donc utilisé un dispositif visuel en colorisant les informations. Ainsi, j'ai classé chaque caractéristique des batteries. Par exemple, pour la densité énergétique, j'ai utilisé le vert pour les batteries avec la meilleure plage, le jaune pour celles avec une plage moyenne, et le rouge pour celles avec une plage inférieure, en comparaison avec toutes les autres batteries du tableau. De cette manière, il est devenu plus facile de comparer les batteries dans leur ensemble et d'identifier la famille de batteries la plus adaptée à nos besoins.

Ces tableaux m'ont permis de mettre en évidence les couples chimiques les plus prometteurs, notamment les batteries au lithium-ion se sont particulièrement démarquées par leurs performances supérieures, ce qui a guidé notre choix pour les étapes suivantes. Des extraits des tableaux mentionnés se trouvent dans l'Annexe A.

3.2.1.3 Consultation avec Future Electronics

Enfin, une consultation avec un spécialiste de Future Electronics a confirmé nos conclusions préliminaires. Les batteries au lithium-ion, en particulier celles à base de NMC, ont été recommandées pour leur adéquation aux dispositifs portables, leur performance, et leur maturité technologique. Il a également été mentionné que les batteries LiPo sont une alternative viable lorsque l'espace est une contrainte, malgré leur performance légèrement inférieure.

3.2.2 Aspects réglementaires

Lors de la réunion avec le spécialiste en batteries de Future Electronics, plusieurs normes et certifications essentielles ont été identifiées pour ARTURIA, si l'entreprise souhaite intégrer des batteries dans ses produits. Les principales normes à considérer sont : UN38.3, IEC62133, et UL2054.

3.2.2.1 Normes et Certifications Principales

3.2.2.1.1 UN38.3

La norme UN38.3 est une norme internationale de sécurité pour le transport des batteries lithium-ion. Elle spécifie les exigences de test pour garantir que les batteries peuvent résister aux conditions de transport extrêmes, telles que les variations de température, les chocs, les vibrations, et les courts-circuits. Étant donné que la certification implique des investissements importants en temps et en ressources, il est avantageux pour ARTURIA de considérer des batteries standards déjà certifiées plutôt que des batteries spécialement personnalisées pour l'usage interne. De nombreux fabricants offrent une large gamme de batteries standards conformes à cette norme, ce qui pourrait faciliter le processus de certification.

3.2.2.1.2 IEC62133

La norme IEC62133 fixe les exigences de sécurité pour les batteries rechargeables, notamment celles au lithium-ion et au nickel. Elle couvre les aspects suivants:

- Tests de sécurité pour les batteries ;
- Conditions d'utilisation et de stockage ;
- Exigences de fabrication.

Cette norme est essentielle pour les entreprises souhaitant commercialiser des produits contenant des batteries, car elle garantit que celles-ci respectent des standards rigoureux en matière de sécurité. De plus, cette norme est obligatoire dans tous les pays de l'Union européenne.

3.2.2.1.3 UL2054

La norme UL2054 spécifie les exigences de sécurité pour les batteries lithium-ion, particulièrement en ce qui concerne la fabrication et l'utilisation des batteries. Cette norme impose des tests rigoureux pour assurer que les batteries sont sécuritaires et fiables lorsqu'elles sont intégrées dans des produits. La conformité à cette norme est nécessaire pour garantir la sécurité des produits contenant des batteries lithium-ion, et elle est particulièrement importante pour les fabricants souhaitant commercialiser leurs produits en Amérique du Nord.

3.2.2.2 Autres normes pertinentes

En plus des normes principales, d'autres directives et règlements doivent être pris en compte :

- Directive RoHS (Restriction of Hazardous Substances) : Régule les substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques ;
- Directive WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment) : Concerne le recyclage des équipements électriques et électroniques ;
- FCC (Federal Communications Commission) : Régule les émissions électromagnétiques pour les produits vendus aux États-Unis ;
- Marquage CE (Conformité Européenne) : Indique que le produit respecte les exigences européennes de sécurité, de santé et de protection de l'environnement ;
- IEC62368-1 : Norme de sécurité pour les équipements audio, vidéo, et informatiques ;
- ANSI C18 : Norme de sécurité spécifique aux batteries portables.

Bien que certaines de ces directives soient déjà connues au sein de l'entreprise, il est essentiel de vérifier si des ajustements sont nécessaires lors de l'intégration des batteries dans les produits.

3.2.2.3 Sécurité en milieu de travail

En ce qui concerne la sécurité des établissements de travail, il est important de noter qu'il n'existe pas de normes obligatoires spécifiques comme l'UN38.3 pour les environnements de travail avec des batteries, particulièrement pour des applications à petite échelle avec une puissance inférieure à 100W. Toutefois, il est crucial d'adopter des pratiques de sécurité rigoureuses pour protéger le personnel et les installations de l'entreprise.

J'ai compilé une liste de risques potentiels et de mesures de sécurité recommandées pour la manipulation des batteries dans un environnement de travail. Cette compilation provient de diverses sources, y compris des entreprises spécialisées en sécurité, des transporteurs de batteries, et des institutions telles que la NFPA. Les éléments suivants sont inclus :

- Références et matériel visuel pour la formation du personnel ;
- Formation et habilitations pour le travail avec des batteries ;
- Suggestions d'équipements de sécurité appropriés.

Cette connaissance était essentielle pour guider les décisions concernant la sécurité des appareils équipés de batteries, et plus particulièrement, des PCB que je concevais. Étant donné qu'une grande partie des risques liés aux batteries est causée par une mauvaise manipulation mécanique ou électrique, je me suis également concentré sur l'intégration de dispositifs de sécurité dans les cartes, en plus de veiller à la qualité des produits que nous pourrions acheter pour le stockage et les tests des batteries.

3.2.3 *Projet et adéquation d'un produit d'ARTURIA*

La première réunion avec Future Electronics n'a pas seulement suscité la recherche sur les normes et certifications, mais aussi la recherche des batteries compatibles sur le marché avec nos besoins.

3.2.3.1 Définition du Cahier des Charges

Pour commencer à trouver les meilleures batteries, il fallait d'abord définir nos besoins. Pour cette raison, nous avons établi notre cahier des charges, qui comprenait les spécifications électriques et les contraintes d'espace pour quatre produits d'ARTURIA, comme le montre la Table 1.

Table 1 - Tableau des cahiers des charges des produits choisis d'ARTURIA

PRODUIT					
CAHIER DES CHARGES		Produit A	Produit B	Produit C	Produit D
	Tension de fonctionnement (V)	5	12	12	12
	Courant instantané maximale (mA)	200	200	700	1200
	Temps d'autonomie (h)	>3	>3	>3	>3
	Dimensions (cm)	1x10x15	2x5x20	1x10x30 ou 2x5x10	1x20x20

Source: l'auteur.

3.2.3.2 Analyse des Produits Concurrentiels

Il nous a semblé pertinent de comprendre comment les entreprises ayant déjà des produits alimentés par batterie s'y prennent, notamment en ce qui concerne leurs circuits et leurs choix de composants, tels que les batteries ou les convertisseurs de puissance.

Pour cela, j'ai mené une analyse de *teardowns* (processus où un appareil ou un composant électronique est complètement démonté pour analyser sa structure interne) de produits concurrents fonctionnant partiellement ou exclusivement sur batterie. Mon objectif était de décoder les solutions techniques utilisées par ces entreprises et de voir comment nous pourrions les adapter à notre propre projet.

Bien que peu de *teardowns* complets soient disponibles, et que beaucoup d'entre eux omettent des informations sur l'alimentation, les quelques exemples que j'ai trouvés m'ont permis de constater la diversité des solutions d'alimentation employées pour différents circuits :

- Utilisation d'une batterie avec une tension inférieure à celle requise par le circuit, combinée à un convertisseur *Boost* pour augmenter la tension ;
- Utilisation d'une batterie avec une tension supérieure, suivie d'une réduction de tension à l'aide d'un convertisseur *Buck* ;
- Utilisation d'une batterie de tension intermédiaire, régulée par un convertisseur *Buck-Boost* capable d'augmenter ou de diminuer la tension selon les besoins.

Ces résultats m'ont permis de comprendre que c'est à l'ingénieur de déterminer les exigences du système et de trouver la solution la plus viable en termes de performance et d'efficacité, tout en tenant compte des options disponibles sur le marché.

3.2.3.3 Recherche de Batteries et Convertisseurs

Pour cette raison, j'ai mené une recherche parmi les fabricants de batteries pour recueillir des informations sur les options disponibles pour nos applications. Cette recherche a été ensuite étendue pour inclure les batteries utilisables dans les premiers prototypes, disponibles dans des magasins standards tels que Mouser, Digi-Key, RadioSpares et Farnell.

Il y a une différence notable entre ces vendeurs standards de composants électroniques qui vendent également des batteries, et les fabricants de batteries. Cette différence se manifeste dans le prix et la variété des produits :

- Les fabricants de batteries proposent des prix plus abordables et une plus grande variété en termes de puissance, de capacité et de taille ;
- Les magasins standards sont parfois limités par les types de batteries vendues, ou pour des raisons géographiques et normatives, ils ne vendent pas de batteries au lithium en Europe. La quantité d'options est également limitée car ce n'est pas leur spécialité.

Parallèlement à cette recherche, j'ai également étudié les circuits intégrés CI de convertisseurs *Buck*, *Boost* et *Buck-Boost*, en examinant leurs prix, rendement, tensions nominales et de sortie, ainsi que d'autres caractéristiques pertinentes pour identifier les meilleures options.

3.2.3.4 Combinaison Batteries et Convertisseurs

J'ai ensuite essayé de combiner les batteries cataloguées avec les CI, en tenant compte des contraintes électriques, et j'ai créé un tableau pour chaque produit de notre entreprise choisi pour l'adaptation à batterie, avec des alternatives utilisant un convertisseur *Boost*, *Buck* ou *Buck-Boost* comme il peut être vue sur l'Annexe B.

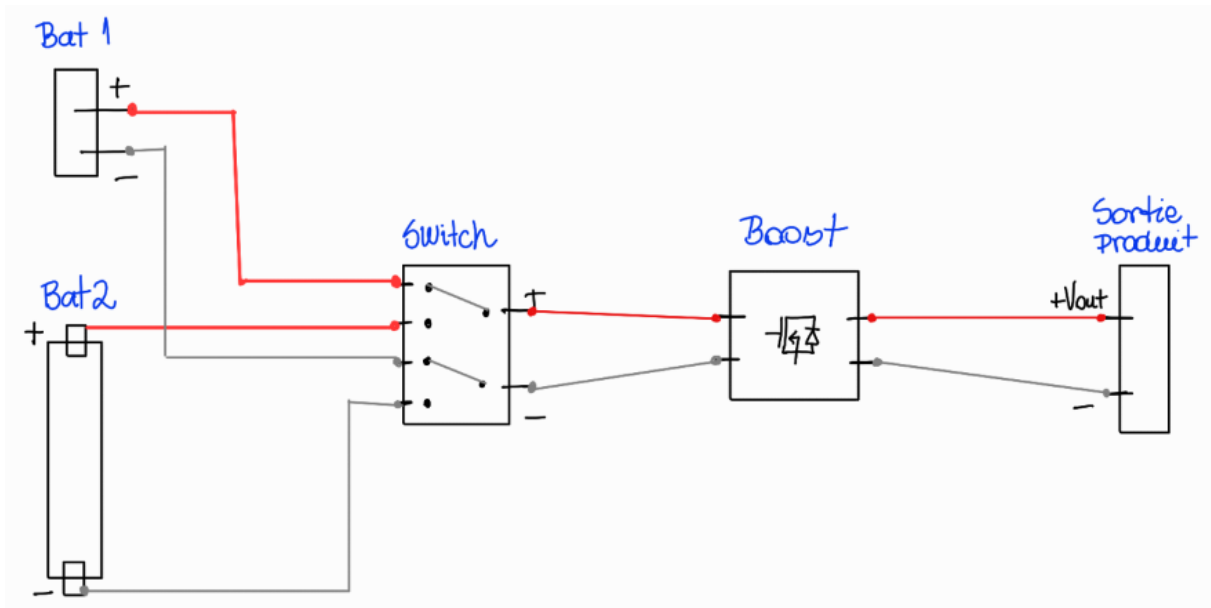
Avec le résultat de cette recherche et en analysant les données recueillies dans les tableaux, il était plus facile de constater que la solution la plus adaptée pour nous était d'utiliser une batterie avec un convertisseur *Boost* pour augmenter la tension. Cette alternative est la meilleure pour nous car en investissant dans un bon convertisseur, nous pouvons utiliser une batterie de tension inférieure à celle nécessaire, ce qui entraîne une batterie plus petite, plus légère, et généralement moins chère.

3.2.3.5 Planification du Circuit d'Alimentation

De cette manière, nous avons choisi d'acheter quelques batteries et convertisseurs *Boost* et j'ai commencé à planifier le circuit d'alimentation nécessaire pour faire fonctionner nos quatre produits avec cette alimentation.

Pour cela, j'ai fait un croquis présenté dans la Figure 6 pour la carte du Produit A, en envisageant d'utiliser un schéma similaire pour les autres produits. Ce schéma est conçu pour permettre de tester des batteries en format cylindrique, nécessitant un support pour connecter la batterie au circuit, ainsi que d'autres formats où la batterie doit être branchée au circuit via des fils. Ainsi, nous pouvons utiliser un interrupteur pour choisir quelle est l'entrée que nous voulons pour l'alimentation. Ensuite, nous avons le circuit de chargement de la batterie, qui consiste en une entrée USB-C pour brancher le chargeur et un CI de chargement qui convertit la tension et le courant en valeurs adaptées à la charge de la batterie. Après cela, nous passons au convertisseur *Boost* qui convertira la sortie de la batterie en la tension et le courant nécessaires pour l'alimentation du produit.

Figure 6 - Croquis du schéma de la PCB



La PCB du Produit A suivant ce croquis a été conçu sur Altium Designer. Il s'agit d'une carte de complexité moindre, en vérifiant qu'après, elle sera intégrée aux autres circuits du produit, et probablement aura des connexions avec d'autres composants comme le microcontrôleur pour mesurer la charge de la batterie, entre autres possibles connexions.

Malheureusement, je n'ai pas eu le temps de réaliser les autres cartes, en raison des limitations de temps, notamment à cause du délai imprévu des étapes précédentes. De plus, les circuits des Produits B, C et D demandent un projet plus raffiné. En effet, ces produits nécessitant plus de puissance, il serait nécessaire d'utiliser des batteries à plusieurs cellules. Cependant, la charge d'une batterie à plusieurs cellules complexifie le circuit, nécessitant un CI capable de prendre en compte la température d'entrée, de choisir la tension et le courant de sortie pour tester différentes batteries avec diverses configurations de cellules, et surtout, de régler les courants et tensions en fonction de la configuration en série ou en parallèle.

Cependant, j'ai laissé un document qui fournit des instructions pour la création des nouvelles cartes, avec des recommandations d'amélioration que j'ai pu identifier lors de la conception et des tests de la carte du Produit A, telles que l'ajout de mécanismes de sécurité et de surveillance de la batterie.

3.2.4 Prototypage

Lorsque les PCBs du Produit A sont arrivées, j'ai pu élaborer un plan de test applicable non seulement à cette carte, mais aussi aux autres produits. Ce plan prévoit une montée en complexité des tests, allant des sous-circuits isolés jusqu'à l'intégration complète de la carte dans le produit final. Ce document est disponible dans l'Annexe C.

Le document décrit de manière précise la procédure à suivre et inclut une section plus détaillée sur le test de chargement de la batterie, vue dans l'Annexe D.

3.2.5 Prochaines étapes

Pour la suite, il sera nécessaire de concevoir les pour les autres produits, en tenant compte des recommandations que j'ai documentées concernant les composants et les améliorations basées sur la carte du Produit A. L'analyse de cette carte a permis d'identifier des faiblesses et de proposer des améliorations pour la rendre plus robuste, comme l'ajout d'un MOSFET pour la protection contre les inversions de polarité à l'entrée de la batterie, d'un fusible pour couper l'alimentation en cas de courant trop élevé, et d'un capteur de température.

L'entreprise devra également investir dans la formation des professionnels afin qu'ils sachent comment manipuler les batteries en toute sécurité, ainsi que dans du matériel de protection pour garantir la sécurité des batteries et de l'ensemble du processus.

Avec le matériel documenté que j'ai laissé, j'espère que l'entreprise pourra continuer à approfondir ses connaissances dans le domaine des batteries, sans avoir à faire de pas en arrière.

3.3 Compétences acquises pendant le stage

Le stage chez ARTURIA m'a permis de mettre en pratique de nombreuses compétences tout en acquérant de nouvelles, souvent dans des domaines que je ne maîtrisais pas auparavant.

Tout au long de ce stage, il a été essentiel d'adopter une grande discipline et une passion pour la transmission des connaissances. En tant que stagiaire, j'étais pleinement consciente que mon travail devait être utile à l'entreprise même après mon départ. C'est pourquoi je me suis efforcée de documenter toutes les informations importantes de manière claire, complète, et accessible. Ainsi, mes collègues actuels et les futurs collaborateurs pourront tirer parti du savoir que j'ai acquis et partagé au cours de mon stage.

Cette tâche m'a demandé de faire preuve d'un esprit critique, en consultant plusieurs sources d'information, en vérifiant leur fiabilité, en synthétisant les éléments pertinents, et en regroupant ces informations pour constituer une base de connaissances solide. J'ai utilisé divers outils pour structurer et partager ces informations : présentations PowerPoint, tableaux, manuels, fichiers PDF, dessins techniques, et projets électroniques.

Cette capacité à documenter et à structurer les informations est une compétence essentielle pour tous les professionnels, et plus particulièrement pour les ingénieurs.

En outre, j'ai pu mettre en pratique plusieurs autres compétences indispensables à la conception de prototypes :

- Compréhension approfondie des objets et des sujets traités ;
- Respect strict des cahiers des charges ;
- Analyse et interprétation des documents techniques ;
- Intégration des dernières avancées scientifiques et technologiques dans le travail ;
- Proposition de solutions innovantes face aux défis techniques.

De plus, une autre compétence transversale que je suis particulièrement fière d'avoir développée est la communication dans une langue qui n'est pas ma langue maternelle. Bien que j'aie été exposée à la langue française depuis un certain temps,

travailler dans un contexte professionnel, avec des responsabilités élevées, représentait un défi nouveau pour moi. La nécessité de communiquer efficacement, de faire des présentations techniques, et de partager mes connaissances en français m'a parfois intimidée. Cependant, grâce au soutien et à l'encouragement de mon tuteur de stage, j'ai réussi à surmonter cette appréhension. J'ai ainsi gagné en confiance et amélioré mes compétences en communication dans ce contexte exigeant.

3.4 Conclusions

Ce stage a été une expérience très enrichissante, à la fois pour ARTURIA et pour moi-même. L'objectif principal de l'entreprise était de faire un premier pas vers la conception de produits alimentés par batterie, et je suis convaincue que cet objectif a été atteint.

Bien que je n'aie pas eu l'opportunité de finaliser toutes les activités initialement prévues, notamment la conception des quatre circuits d'alimentation pour les différents produits de l'entreprise, toutes les autres tâches, en particulier les études et le développement des connaissances, ont été réalisées de manière rigoureuse et approfondie. L'entreprise dispose désormais d'une solide base de connaissances sur laquelle elle peut s'appuyer pour poursuivre le projet. Les étapes suivantes consistent à tester le premier prototype, puis à concevoir les trois autres circuits en tirant parti de l'expérience et des résultats des tests du premier circuit (PCB) conçu pour le Produit A.

J'ai reçu des retours très positifs de la part de l'équipe et de mes collègues, qui sont enthousiastes à l'idée de voir l'entreprise relever ce défi avec succès.

Pour ma part, je suis extrêmement satisfaite d'avoir contribué au développement de l'entreprise et d'avoir eu l'opportunité de mettre en pratique les connaissances acquises, allant de l'électronique à la chimie.

Je suis impatiente de voir, dans un avenir proche, les fruits de ce travail sur le marché, entre les mains des musiciens du monde entier.

3.5 Considerações finais

O relatório apresentado neste capítulo reúne as atividades realizadas ao longo de dezessete semanas de estágio na empresa ARTURIA, no âmbito do programa de intercâmbio BRAFITEC. O documento reflete a trajetória técnica desenvolvida durante o período, desde a fase inicial de pesquisa até a elaboração de propostas de projeto que poderão subsidiar ações futuras na empresa.

As primeiras etapas do estágio foram dedicadas ao levantamento detalhado das tecnologias de baterias aplicáveis aos produtos da ARTURIA. O estudo abrangeu diferentes famílias químicas, formatos e parâmetros de desempenho, permitindo organizar os resultados em tabelas comparativas que facilitaram a análise. Nesse contexto, a consulta técnica realizada com um especialista da Future Electronics contribuiu para validar as conclusões obtidas durante essa fase, reforçando a pertinência das soluções identificadas como mais adequadas às necessidades da empresa.

Paralelamente, foi conduzido o levantamento dos principais aspectos regulamentares relacionados ao uso de baterias em produtos eletrônicos. As normas UN38.3, IEC62133 e UL2054 foram examinadas com atenção especial, juntamente com recomendações gerais de segurança para ambientes de trabalho que lidam com baterias. Esse conjunto de informações orientou a compreensão das exigências legais e de segurança envolvidas no desenvolvimento de produtos alimentados por bateria.

A etapa de projeto incluiu a elaboração do caderno de encargos para quatro produtos da empresa e a pesquisa de combinações compatíveis de baterias e conversores disponíveis no mercado. Em seguida, foi desenvolvido um esquema de circuito de alimentação baseado em conversor *Boost* e concebida uma placa de circuito impresso para o Produto A utilizando o *software* Altium Designer. Contudo, as atividades previstas para os demais produtos não puderam ser concluídas devido ao tempo limitado do estágio, motivo pelo qual o foco recaiu na organização e documentação detalhada das etapas realizadas, de modo a permitir que o trabalho possa ser retomado pela equipe da empresa.

Por fim, o relatório registra as competências desenvolvidas ao longo do estágio, incluindo a leitura e interpretação de documentação técnica, o atendimento a cadernos

de encargos, a proposição de soluções compatíveis com o contexto industrial e a comunicação em ambiente profissional internacional. Essas competências contribuíram significativamente para a formação técnica e para o amadurecimento profissional ao longo da experiência.

Em conjunto, as atividades documentadas representam um percurso formativo consistente, alinhado às necessidades da empresa e aos objetivos educacionais do programa de intercâmbio, além de constituírem uma base sólida para o avanço futuro das soluções estudadas.

4 CONCLUSÕES

O trabalho desenvolvido permitiu avançar de forma consistente nos objetivos propostos para o estágio, contribuindo tanto para o aprofundamento técnico da área de pesquisa e desenvolvimento da ARTURIA quanto para a formação acadêmica da autora. Diante disso, o estudo consolidou uma base de conhecimento abrangente sobre as diferentes configurações, formatos e químicas de baterias aplicáveis a instrumentos musicais, além de destacar aspectos técnicos, regulamentares e de projeto envolvidos na integração dessas tecnologias em produtos eletrônicos. Adicionalmente, as análises realizadas possibilitaram comparar diferentes famílias químicas de baterias por meio de tabelas quantitativas e qualitativas, o que permitiu identificar as soluções mais compatíveis com as necessidades da empresa. A consulta técnica com a Future Electronics reforçou as conclusões obtidas durante essa etapa, oferecendo orientações complementares sobre as tecnologias analisadas. Complementarmente, o estudo das normas UN38.3, IEC62133 e UL2054 evidenciou a importância dos requisitos de segurança e certificação associados ao uso de baterias recarregáveis em produtos destinados a mercados internacionais.

No âmbito do projeto, as atividades incluíram a elaboração do caderno de encargos dos quatro produtos analisados, a pesquisa de combinações de baterias e conversores disponíveis no mercado e o desenvolvimento de esquemas preliminares de alimentação. A concepção da placa de circuito impresso do Produto A, realizada no software Altium Designer, integrou essas informações em uma proposta inicial de desenvolvimento.

Além das contribuições técnicas, o estágio permitiu o desenvolvimento de competências essenciais para a prática profissional, como a leitura e interpretação de documentação técnica, o atendimento a cadernos de encargos, a proposição de soluções compatíveis com o ambiente industrial e a comunicação em contexto profissional internacional. Essas experiências contribuíram para consolidar habilidades importantes na formação de um engenheiro de controle e automação, articulando conhecimentos teóricos com aplicações reais.

Embora os resultados alcançados tenham sido expressivos, algumas etapas permanecem em aberto para desenvolvimento futuro. Entre elas, destaca-se a necessidade de prosseguir com os testes previstos para a placa do Produto A, de modo a

validar experimentalmente os parâmetros definidos nas especificações, bem como a elaboração dos circuitos para os demais produtos analisados. A expansão do estudo para temas complementares, como estratégias de gestão de carga, análise térmica e avaliação de durabilidade, poderá enriquecer o processo de integração dessas tecnologias em produtos comerciais.

Em síntese, o trabalho realizado constituiu uma base sólida para o prosseguimento das atividades iniciadas na empresa, evidenciando o valor da experiência internacional na articulação entre formação acadêmica e prática industrial.

REFERÊNCIAS

- ARTURIA. **About Us – ARTURIA**, 2024. Disponível em: <<https://www.arturia.com/company/about-us>>. Acesso em: 17 Julho 2024.
- BATTERY UNIVERSITY. BU-301a: Types of Battery Cells, 2019. Disponível em: <<https://www.batteryuniversity.com/article/bu-301a-types-of-battery-cells/>>. Acesso em: Julho 2023.
- BERNARD, P. SECONDARY BATTERIES – NICKEL SYSTEMS | Nickel–Cadmium: Sealed. In: GARCHE, Jürgen **Encyclopedia of Electrochemical Power Sources**. [S.l.]: Elsevier, 2009. p. 459–481.
- BHATTACHARJEE, Udit et al. Electrochemical energy storage part I: development, basic principle and conventional systems. In: PRABHANSU; KUMAR, Nayan **Emerging Trends in Energy Storage Systems and Industrial Applications**. [S.l.]: Academic Press, 2023. p. 151–188.
- BRIDGEWATER, G. et al. A Comparison of Lithium-Ion Cell Performance across Three Different Cell Formats. **Batteries**, v. 7, p. 38, 2021.
- BURHEIM, Odne Stokke. Secondary Batteries. In: BURHEIM, Odne Stokke **Engineering Energy Storage**. [S.l.]: Academic Press, 2017. p. 111–145.
- GOODENOUGH, John B.; KIM, Youngsik. Challenges for Rechargeable Li Batteries. **Journal of Power Sources**, v. 196, n. 16, p. 6688–6694, 2011.
- GOODENOUGH, John B.; PARK, Kyu-Sung. The Li-Ion Rechargeable Battery: A Perspective. **Journal of the American Chemical Society**, v. 135, n. 4, p. 1167–1176, 2013.
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC). **IEC 62133-2: Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes — Safety requirements for portable sealed secondary lithium cells and for batteries made from them, for use in portable applications**. International Electrotechnical Commission (IEC). [S.l.]. s.d.
- KIM, H.-J. et al. A Comprehensive Review of Li-Ion Battery Materials and Their Recycling Techniques. **Electronics**, v. 9, p. 1161, 2020.
- KURZWEIL, P. History of electrochemistry | primary and secondary batteries. In: _____ **Encyclopedia of Electrochemical Power Sources**. [S.l.]: [s.n.], 2005. p. 223–248.
- LINDEN, David; REDDY, Thomas B. **Handbook of Batteries**.
- MONGIRD, K. et al. An Evaluation of Energy Storage Cost and Performance Characteristics. **Energies**, v. 13, p. 3307, 2020.
- MOREHOUSE, C. K.; GLICKSMAN, R.; LOZIER, G. S. Batteries. **Proceedings of the IRE**, v. 46, p. 1462–1483, Agosto 1958.
- NZEREUGU, P. U. et al. Anode materials for lithium-ion batteries: A review. **Applied Surface Science Advances**, v. 9, p. 100233, 2022.
- ONECHARGE. **Lithium Cell Formats - OneCharge**, 2021. Disponível em: <<https://www.onecharge.biz/lithium-cell-format/>>. Acesso em: 16 Agosto 2024.
- PATEL, Maitri et al. Fundamentals, recent developments and prospects of lithium and non-lithium electrochemical rechargeable battery systems. **Journal of Energy Chemistry**, v. 81, p. 221–259, 2023.

PIXABAY. **Battery Energy Means of Nutrition**, 2016. Disponível em: <<https://pixabay.com/photos/battery-energy-means-of-nutrition-1930833/>>. Acesso em: 16 Agosto 2024.

PIXABAY. **Battery Lithium Power Energy**, 2020. Disponível em: <<https://pixabay.com/photos/battery-lithium-power-energy-5096397/>>. Acesso em: 16 Agosto 2024.

SCROSATI, Bruno; GARCHE, Juergen. Lithium batteries: Status, prospects and future. **Journal of Power Sources**, v. 195, p. 2419-2430, 2010.

SPARKFUN. **Battery Technologies - SparkFun Learn**, 2015. Disponível em: <<https://learn.sparkfun.com/tutorials/battery-technologies/all>>. Acesso em: 16 Abril 2024.

TARASCON, Jean-Marie; ARMAND, Michel. Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries. **Nature**, v. 414, p. 359-367, 2001.

TARGRAY. **Li-ion Battery Materials**, 2024. Disponível em: <<https://www.targray.com/li-ion-battery>>. Acesso em: 16 Agosto 2024.

UNDERWRITERS LABORATORIES (UL). **UL 2054: Standard for Household and Commercial Batteries**. Underwriters Laboratories (UL). [S.l.]. s.d.

UNITED NATIONS. **UN Manual of Tests and Criteria, Part III, Sub-section 38.3 — Lithium Metal and Lithium-Ion Batteries**. United Nations. [S.l.]. s.d.

WANG, Qingsong et al. Thermal runaway caused fire and explosion of lithium ion battery. **Journal of Power Sources**, v. 208, p. 210-224, 2012.

APÊNDICES

APÊNDICE A

ELEMENTOS PRÉ-TEXTUAIS DO RELATÓRIO TÉCNICO DESENVOLVIDO NA POLYTECH GRENOBLE

Étude des aspects techniques et réglementaires de l'utilisation des batteries dans les instruments de musique

Informatique et Electronique des Systèmes Embarqués
27 août 2024

Aline LIMA DE OLIVEIRA



POLYTECH Grenoble - INP, UGA

14, Place du Conseil National de la Résistance

38400 Saint-Martin-d'Hères

Tél. (33) 04.76.82.79.02

<https://polytech.grenoble-inp.fr/>

Étude des aspects techniques et réglementaires de l'utilisation des batteries dans les instruments de musique

Aline LIMA DE OLIVEIRA

Résumé

Au cours de ce stage, j'ai plongé dans le monde des technologies des batteries, en me concentrant sur leur application dans les produits électroniques. Les recherches ont porté sur les normes et certifications essentielles, notamment UN38.3, IEC62133 et UL2054, qui sont indispensables pour garantir la sécurité et la conformité des batteries au lithium. L'exploration s'est étendue à la compréhension des produits concurrents et des spécificités techniques des différents types de batteries, tels que Lithium-ion, Nickel-Hydrure Métallique (NiMH) et Lithium-polymère (LiPo), ainsi que des différents systèmes de gestion des batteries.

Une analyse complète a été menée pour aligner les exigences des produits d'ARTURIA sur les solutions de batteries appropriées, en tenant compte de facteurs tels que la régulation de la tension par des convertisseurs *Boost*, *Buck* et *Buck-Boost*. Les résultats ont conduit à la conception d'un schéma de circuit d'alimentation pour un produit de l'entreprise, incorporant des mécanismes de charge et de conversion de tension.

Le projet a culminé avec le prototypage et les tests, fournissant des informations précieuses sur l'application pratique de la technologie des batteries dans la gamme de produits d'ARTURIA. Les recommandations pour le développement futur comprennent l'amélioration de l'expertise de l'équipe dans les systèmes de batterie et l'intégration des mesures de sécurité et de surveillance dans les différents départements.

Ce travail constitue une étape fondamentale vers la mise en œuvre de solutions alimentées par des batteries chez ARTURIA, ce qui pourrait révolutionner la gamme de produits grâce à des solutions énergétiques innovantes.

Study of the technical and regulatory aspects of using batteries in musical instruments

Aline LIMA DE OLIVEIRA

Abstract

During this internship, I delved into the multifaceted world of battery technologies, focusing on their application in electronic products. The research covered critical standards and certifications, including UN38.3, IEC62133, and UL2054, which are essential for ensuring the safety and compliance of lithium-based batteries. The exploration extended to understanding competitive products and the technical specifics of various battery types, such as Lithium-ion, NiMH, and LiPo, alongside different battery management systems.

A comprehensive analysis was conducted to align ARTURIA's product requirements with appropriate battery solutions, considering factors such as voltage regulation through *Boost*, *Buck* and *Buck-Boost* converters. The findings led to the design of a power circuit schematic for one of the company's product, incorporating charging mechanisms and voltage conversion.

The project culminated in prototyping and testing, providing valuable insights into the practical application of battery technology within ARTURIA's product line. Recommendations for further development include enhancing team expertise in battery systems and integrating safety and monitoring measures across various departments.

This work serves as a foundational step towards implementing battery-powered solutions at ARTURIA, potentially revolutionizing the product line with innovative energy solutions.

Remerciements

Je reconnais être très chanceuse d'avoir eu l'opportunité d'effectuer mon stage au sein d'une entreprise aussi merveilleuse qu'ARTURIA. Cette expérience m'a permis de grandir non seulement sur le plan professionnel, mais aussi sur le plan personnel. C'est pourquoi je tiens à exprimer ma profonde gratitude à tous ceux qui ont contribué à cette réussite.

Tout d'abord, je remercie Dieu de m'avoir donné la vie et de m'avoir guidée tout au long de mon parcours. Je tiens également à exprimer ma reconnaissance envers ma famille, qui m'a toujours offert le soutien nécessaire.

Je souhaite également adresser mes remerciements à Thierry Chatelain, pour m'avoir exceptionnellement guidée tout au long de mon stage. Je remercie également Corentin, Laurent, Loïc Baum et Loïc Brunet, pour leur disponibilité et leur précieuse collaboration. Leur soutien, leurs enseignements et leur aide ont été inestimables pour la réussite de ce projet.

Je tiens aussi à remercier tous mes collègues pour leur bienveillance et pour les échanges enrichissants que nous avons partagés, tant sur le plan professionnel que personnel, notamment sur la découverte de la France et de sa culture.

Enfin, je souhaite exprimer ma gratitude à David Eon, mon responsable de stage, pour son soutien tout au long de cette expérience, ainsi qu'à Polytech Grenoble - Grenoble INP pour cette opportunité. Je remercie également l'Université Fédérale de Pernambouc et la Coordination of Superior Level Staff Improvement (CAPES) pour m'avoir permis de vivre cette expérience en France, notamment grâce à leur soutien financier.

ANEXOS (Annexes)

Annexe A

EXTRAIT DU TABLEAU D'ANALYSE QUANTITATIVE

ANNEXE A

Extrait du tableau d'analyse quantitative

		Lithium-ion							
		NMC	NCA	LMO	LCO	LTO	LFP	LiPo	Li-métal
Caractéristiques	Tension nominale	3.7V	3.6V	3.7V	3.6V	2.4V	3.2-3.3V	3.7V	3-3.7V
	Tension de fonctionnement	3-4.2V	3-4.2V	3-4.2V	3-4.2V	1.8-2.85V	2.5-3.65V	3-4.2V	1.5-3.7V
	Cycle de vie	1000 to 2000	500	300 to 800	500 to 1000	3000 to 7000	3000 to 7000	500 to 1000	2500
	Plage thermique de fonctionnement	-20 à 55°C	-20 à 55°C	-55 à 85°C	-20 à 55°C	-40 à 60°C	-20 à 60°C	-20 à 60°C	-20 à 60°C
	Taux de charge (C-rate)	0.7-1C (3h)	0.7C, charges up to 4.2V in 3h	0.7-1C, max charge rate 3C, individual cells charge to 4.2V in 3h	0.7-1C, typically charges to 4.2V in 3h	1-5C, charges up to 2.85V	1C, typically charges to 3.65V in 3h	Charge à 1C, avec certaines capacités plus élevées	Les types rechargeables sont en cours de développement et les taux de charge varieront.
	Taux de décharge (C-rate)	1C, with a cutoff at 2.5V	1C, cutoff at 3V	1C. Some batteries have a discharge rate of 10C and cutoff at 2.5V.	1C, cutoff at 2.5V	10C, cutoff at 1.8V	1C, can be 25C in certain cells, cutoff varies between 2-2.5V	Variable, les batteries à haute performance offrant des taux allant jusqu'à 25C	Les batteries lithium-métal haute performance peuvent supporter des taux de décharge plus élevés.
	Énergie spécifique	150-220 Wh/kg	200-260 Wh/kg	100-150 Wh/kg	150-200 Wh/kg	50-80 Wh/Kg	90-120 Wh/Kg	130-200 Wh/Kg	300Wh/kg
	Prix (cellule) \$/kWh	\$110-130/kWh (Battery Univ.) \$112.7/kWh (Volta Found. 2023)	\$100-120/kWh (Battery Univ.) \$120.3/kWh (Volta Found. 2023)	\$130-140/kWh	\$123.6/kWh (Volta Found. 2023)	\$800-1,000/kWh	\$98.50	~\$200/kWh	Généralement plus élevé en raison du coût du lithium métallique et de la complexité de la production
Caractéristiques	Emballage	Formes cylindrique, prismatique et en cellules de poches (plusieurs tailles disponibles)	Formes cylindrique, prismatique et en cellules de poches (plusieurs tailles disponibles)	Formes cylindrique, prismatique et en cellules de poches (plusieurs tailles disponibles)	Formes cylindrique, prismatique et en cellules de poches (plusieurs tailles disponibles)	Formes cylindrique, prismatique et en cellules de poches (plusieurs tailles disponibles)	Formes cylindrique, prismatique et en cellules de poches (plusieurs tailles disponibles)	Formes cylindrique, prismatique et en cellules de poches (plusieurs tailles disponibles)	Formes cylindrique, prismatique et en cellules de poches (plusieurs tailles disponibles)
	Commentaires	Offre une capacité et une puissance élevées. Sert de cellule hybride. Chimie préférée pour de nombreuses utilisations; la part de marché augmente	Partage des similitudes avec le Li-cobalt. Sert de cellule énergétique. Principalement utilisé par Panasonic et Tesla; potentiel de croissance.	Puissance élevée mais capacité moindre; plus sûr que le Li-cobalt; couramment mélangé avec du NMC pour améliorer les performances. Moins pertinent aujourd'hui; potentiel de croissance limité.	Énergie spécifique très élevée, puissance spécifique limitée. Le cobalt est cher. Sert de cellule énergétique. La part de marché s'est stabilisée. Version ancienne; n'est plus d'actualité.	Longue durée de vie, charge rapide, large plage de température, mais faible énergie spécifique et coût élevé. Parmi les batteries Li-ion les plus sûres. Capacité de charge ultra-rapide; le coût élevé limite les applications spéciales.	Courbe de décharge de tension très plate mais faible capacité. L'un des Li-ion les plus sûrs. Utilisé pour les marchés spéciaux. Autodécharge élevée. Utilisé principalement pour le stockage de l'énergie, croissance modérée.	Les batteries LiPo sont appréciées pour leur souplesse de forme et de taille, leur haute densité énergétique et leur légèreté	Il s'agit d'une large gamme de batteries, dont la formule chimique peut varier, mais qui me semblent encore en cours de développement

FIGURE A.0.1 – Extrait du tableau d'analyse quantitative présentant les données relatives aux batteries lithium-ion

		Types de batteries						
Caractéristiques		Nickel					Alcaline	
		NiCd	NiMH	NiFe	NiZn	NiH2	Rechargeable	Non-rechargeable
	Tension nominale	1.2V/cellule	1.2V/cellule	1.2V	1.65V	1.25V	1.2V/cellule	1.5V/cellule
	Tension de fonctionnement	0.9-1.5V	1-1.2V	1-1.55V	1-1.85V	1-1.55V	Tension de coupure de 0.9V	Tension de coupure de 0.9V
	Cycle de vie	1000	300 to 500	300 to 500	200 to 300	>70000 partial	50	1
	Plage thermique de fonctionnement	-20 à 60°C	-40 à 55°C	-20 à 60°C	-30 à +40°C	0 à 100°C	Peuvent généralement être utilisées dans une plage de 0°C à 45°C pour la charge et de -20°C à 60°C pour la décharge	Sont conçues pour résister à des températures de -20°C à 55°C
	Taux de charge (C-rate)	Peut être plus que 1C	0.5-1C	Indéfini	Charge régulier	Indéfini	Limitation de la tension (1.6-1.7V), 0.05C	N/A
	Taux de décharge (C-rate)	Peut être plus que 1C	1C	Modéré	Puissance relativement élevée	Indéfini	0.1 à 0.5C	0.05C
	Énergie spécifique	45-80Wh/Kg	60-120Wh/Kg	50Wh/Kg	100Wh/Kg	40-75Wh/Kg	40-60Wh/kg, moins avec chaque recharge ultérieure	50 à 100Wh/Kg
	Prix (cellule) \$/kWh	\$300-\$600/kWh	\$250-\$1,000/kWh	\$500-\$1,000/kWh	\$200-\$400/kWh	\$1,000-\$2,500/kWh	\$50-\$100/kWh	\$100-\$200/kWh
	Emballage	A, AA, C, également en tailles fractionnaires	A, AA, AAA, C, prismatique	Non défini	AA et autres	Sur mesure	AA, AAA, C, D, 9V (et autres formats spéciaux)	AA, AAA, C, D, 9V (et autres formats spéciaux)
	Commentaires	La mémoire réduit la capacité, réversible; Robuste, mais exigeante en termes de maintenance. Seule batterie pouvant être rechargée très rapidement avec peu de contraintes.	Mémoire (moins affectée que le NiCd); Plus délicate que la NiCd, elle a une capacité plus élevée et nécessite moins d'entretien	La surcharge provoque l'assèchement; En 1990, le Cd a été remplacé par le Fe par souci d'économie. Autodécharge élevée et coûts de fabrication élevés	Durée de vie courte en raison de la croissance des dendrites; Puissance élevée, bonne plage de température, faible coût mais autodécharge élevée et durée de vie courte	Corrosion minimale; Utilisé exclusivement par satellites, trop cher pour une utilisation terrestre	Ils ont un faible taux d'autodécharge et conviennent aux applications à usage occasionnel ou à charge peu fréquente.	Les piles alcalines ordinaires ne doivent pas être chargées, car elles présentent un risque de fuite, de gaz et d'explosion.

FIGURE A.0.2 – Extrait du tableau d'analyse quantitative présentant les données relatives aux batteries nickel et alcaline

Caractéristiques

27

Annexe B

TABLEAU DE PROPOSITION DE COUPLE DE BATTERIE

ANNEXE B

Deuxième annexe

Produit B							
Batterie non-rechargeable							
Step-down							
Batterie	CI	Prix*	Taille (mm)	Poids (g)	Rendement requis (%)	Rendement du CI (%)	OBS.:
6x Batterie, Simple cellule, 3 V, 123A, Lithium-dioxyde de manganèse, 1.6 Ah	Régulateur à découpage DC/DC, Buck-Boost, Fixe. Entrée 2.4 à 25V, Sortie 12V/0.6A, QFN-EP-20	€84,78	6x [18 (d) x 34.5 (h)]	99	50		
6x Batterie, 3 V, CR123A, Lithium-dioxyde de manganèse, 1.4 Ah, Surélevé positif et plat négatif	Régulateur à découpage DC/DC, Buck-Boost, Fixe. Entrée 2.4 à 25V, Sortie 12V/0.6A, QFN-EP-20	€51,42	6x [18 (d) x 34.5 (h)]	102	67		
De mon point de vue, il est irréaliste d'opter pour cette solution							
Step-up							
Batterie	CI	Prix*	Taille (mm)	Poids (g)	Rendement requis (%)	Rendement du CI (%)	OBS.:
4x Pile AA RS PRO 1.5V Alcaline, 2.2Ah	Régulateur DC/DC Boost (Step Up), Réglable, 2.6V à 5.5V, 2.6V à 13V/0.5A, 1.4 MHz, SOT-23-6	€34,64	4x [14.5 (d) x 48 (h)]	112	80	80 - 90	
2x Batterie, Simple cellule, 3 V, 123A, Lithium-dioxyde de manganèse, 1.6 Ah	Régulateur DC/DC à découpage Boost, Ajustable, 2.7V-30V _{in} , 3.3V-39V/1.5A out, 280kHz, SOIC-8	€30,62	2x [18 (d) x 34.5 (h)]	33	40-70	-	
2x Batterie, 3 V, CR123A, Lithium-dioxyde de manganèse, 1.4 Ah, Surélevé positif et plat négatif	Régulateur DC/DC Boost (Elevateur), Ajustable, Vin 2.5V-10V, Vout 3.6V-34V, 1A SOT-23-5	€17,75	2x [18 (d) x 34.5 (h)]	34	40-70	80-90	
Batterie rechargeable							
Step-down							
Batterie	CI	Prix*	Taille (mm)	Poids (g)	Rendement requis (%)	Rendement du CI (%)	OBS.:
Bloc batterie rechargeable RS PRO 14.8V Lithium-Ion 2.6Ah 73 x 68 x 24 mm x 4	Régulateur à découpage, DC/DC Buck-Boost, Ajust. Entrée 2.5 V à 16 V Sortie 3V à 15V/2A, WLP-35	€47,75	73 (l) x 68 (h) x 24 (d)	187	45	85 - 96	
Bloc batterie rechargeable RS PRO 14.4V 2.6Ah x 4	Régulateur à découpage, DC/DC Buck-Boost, Ajust. Entrée 2.5 V à 16 V Sortie 3V à 15V/2A, WLP-35	€100,76	38 (l) x 38 (e) x 70 (h)	188	50	85 - 96	
Bloc batterie rechargeable RS PRO 14.4V Lithium-Ion 3.5Ah x 4	Régulateur à découpage, DC/DC Buck-Boost, Ajust. Entrée 2.5 V à 16 V Sortie 3V à 15V/2A, WLP-35	€118,45	74 (l) x 24 (e) x 68 (h)	195	44	85 - 96	
Step-up							
Batterie	CI	Prix*	Taille (mm)	Poids (g)	Rendement requis (%)	Rendement du CI (%)	OBS.:
Batterie lithium 3.6V 4Ah 21700 RS PRO	Régulateur DC/DC Boost (Elevateur), Ajustable, Vin 2.5V-10V, Vout 3.6V-34V, 1A SOT-23-5	€13,28	21.15 (d) x 70.15 (h)	71	60	80 - 90	
Bloc batterie rechargeable RS PRO 7.4V Lithium-Ion 5.2Ah 78 x 68 x 19 mm x 4	Régulateur DC/DC à découpage Boost, Ajustable, 2.7V-30V _{in} , 3.3V-39V/1.5A out, 280kHz, SOIC-8	€49,39	78 (l) x 68 (h) x 19 (e)	184	70	-	
Bloc batterie rechargeable Ansmann 10.8V Lithium-Ion 2.6Ah x 3	Régulateur DC/DC Boost (Step Up), Réglable, 2.6V à 5.5V, 2.6V à 13V/0.5A, 1.4 MHz, SOT-23-6	€69,92	57 (l) x 70 (h) x 19 (e)	145	43	80-90	

FIGURE B.0.1 – Extrait du tableau de proposition de couple de batterie et de CI de convertisseur pour le produit B

Annexe C

TEST DE PCB

ANNEXE C

Test de PCB

Préparation des Tests

Matériel Nécessaire

- Multimètre ;
- Oscilloscope ;
- Source de courant réglable (pour simuler la batterie) ;
- Charge électronique programmable (pour simuler la charge sur la sortie) ;
- Thermomètre infrarouge ou caméra thermique ;
- Connecteur USB-C compatible avec le circuit de charge ;
- Ordinateur pour enregistrer les résultats.

Documentation

- Schéma électrique de la carte ;
- Liste des composants avec spécifications ;
- Procédure de test détaillée pour chaque étape.

Tests de Validation

Inspection Visuelle

- Vérifiez que tous les composants sont correctement installés et soudés ;
- Confirmez qu'il n'y a pas de ponts de soudure ou de composants manquants.

Tests de Continuité et de Connexion

- Testez la continuité sur les pistes critiques, notamment entre les batteries, le convertisseur *Boost*, et les sorties ;
- Assurez-vous que les connexions aux points de test sont accessibles et fonctionnelles.

Test de Fonctionnalité de Base

- Connexion et alimentation : Connectez une source de courant réglable simulant la batterie (3.7V) et mesurez la consommation en courant de la carte sans charge connectée ;
- Testez le fonctionnement du *switch* de sélection de la batterie.

Test de Charge de la Batterie

- Simulez une batterie déchargée et connectez une source d'alimentation via le port USB-C ;
- Mesurez la tension et le courant fournis à la batterie pour vérifier que le circuit de charge fonctionne correctement selon les spécifications du CI ;
- Vérifiez que le courant de charge diminue lorsque la batterie atteint sa pleine charge ;
- Vérifiez que les LED d'indication s'allument correctement (indicateurs de charge, de fonctionnement, etc.).

Test de Conversion de Tension (*Boost*)

- Appliquez une tension de batterie simulée (3.0V à 4.2V, pour une batterie à une cellule, par exemple) et mesurez la sortie du convertisseur Boost pour vérifier qu'elle atteint la valeur désirée ;
- Connectez une charge variable et augmentez le courant de sortie jusqu'au courant maximal. Mesurez la tension de sortie pour vérifier la régulation.

Test de Performance Sous Charge

- Charge continue : Appliquez une charge égale à la valeur maximum définie pour le produit et maintenez pendant 3 heures. Surveillez la température des composants critiques (convertisseur, régulateur de charge, etc.) ;
- Vérifiez les protections : déconnexion et reconnexion rapide, surchauffe, surcharge, etc.
- Notez toute déviation de la tension ou du comportement attendu.

Tests de Sécurité et de Protection

- Protection contre les surtensions : Introduisez une surtension à l'entrée pour vérifier la réponse du système ;
- Protection contre les surintensités : Appliquez une charge supérieure à la maximale définie pour le produit pour vérifier la coupure du circuit ;
- Test de polarité inverse : Branchez la batterie avec une polarité inversée pour vérifier la protection.

Test de Durabilité et de Longévité

- Cycles de charge/décharge : Effectuez plusieurs cycles de charge et décharge de la batterie pour évaluer la performance à long terme ;
- Tests de température : Exposez la carte à différentes températures (0°C à 50°C) et testez son fonctionnement.

Documentation des Résultats

- Enregistrez toutes les mesures et observations pour chaque test ;
- Incluez des photos des configurations de test et des résultats pertinents, comme les formes d'onde sur l'oscilloscope ;
- Consignez tout comportement inattendu ou anormal et les actions correctives prises.

Conclusion et Révision

- Évaluez les résultats des tests pour chaque section et comparez-les aux spécifications attendues ;
- Rédigez un rapport de validation qui comprend une analyse des résultats, des recommandations pour des améliorations potentielles, et une conclusion générale sur la validité de la conception.

Annexe D

TEST DE CHARGEMENT D'UNE BATTERIE

ANNEXE D

Test de chargement d'une batterie

Surveillance de la charge de la batterie pour le test de fonctionnement

Lors d'un test de fonctionnement, il est important de bien surveiller la charge de la batterie pour s'assurer que tout fonctionne comme prévu et pour détecter toute anomalie. Voici quelques consignes pour définir les intervalles de mesure de la tension et du courant de la batterie pendant le test.

Raisons pour surveiller la charge d'une batterie

- **Vérification du bon déroulement** : Assurez-vous que la batterie se charge correctement ;
- **Détection d'anomalies** : Repérez les surtensions, les surintensités ou autres problèmes éventuels ;
- **Collecte de données** : Obtenez des informations précises pour analyser et comprendre le comportement de votre circuit de charge.

Fréquence des mesures

A. Début du test

- **Intervalle** : 1 seconde ;
- **Raison** : Les premières minutes de charge sont cruciales. Surveiller de près dès le début permet de s'assurer que tout démarre bien et qu'il n'y a pas de problème immédiat.

B. Phase de charge rapide

- **Intervalle** : 2 à 5 secondes ;
- **Raison** : Pendant cette phase, la batterie se charge rapidement, avec des variations de tension et de courant importantes. Une surveillance fréquente garantit que la batterie et le circuit de charge fonctionnent correctement.

C. Phases de charge d'égalisation et d'entretien

- **Intervalle** : 5 à 10 secondes ;
- **Raison** : Les changements dans ces phases sont plus lents, permettant des intervalles de mesure plus longs tout en maintenant une surveillance adéquate.

D. En cas d'anomalie

- **Intervalle** : 1 seconde ou moins ;

- **Raison :** Si quelque chose d'anormal est détecté, comme une montée rapide de la température ou de la tension, il faut surveiller de très près pour comprendre ce qui se passe et réagir rapidement.

Configuration de test

Matériel et logiciel

- **Multimètre ou système de surveillance :** Utilisez un multimètre numérique ou un système de surveillance de batterie avec des capacités d'enregistrement des données ;
- **Logiciel de collecte de données :** Un logiciel capable de stocker et d'analyser les données collectées à intervalles réguliers.

Étapes du test

A. Préparation :

- Vérifiez que tous les composants sont correctement connectés ;
- Configurez le système de surveillance avec l'intervalle de mesure initial de 1 seconde.

B. Démarrage du test :

- Commencez la charge et surveillez les premiers résultats pour vérifier que tout fonctionne correctement ;
- Si aucune anomalie n'est détectée, passez à l'intervalle de mesure de 2 à 5 secondes.

C. Collecte des données :

- Laissez le test se dérouler et collectez les données à intervalles réguliers ;
- Surveillez les données en temps réel pour détecter toute condition anormale.

D. Analyse post-test :

- Une fois la charge terminée, analysez les données collectées pour vérifier le comportement du circuit de charge ;
- Identifiez et corrigez les éventuelles anomalies détectées.

Le manuel de la batterie et le manuel du CI de chargement utilisé peuvent fournir des informations importantes sur le profil de charge. On y trouve des courbes montrant les différents intervalles de charge décrits ici, ainsi que d'autres informations sur le comportement attendu du système pendant la charge.